JOSE ROBERTO ZAMPIERI JUNIOR

O USO DA SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO A ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT VISANDO O AUMENTO DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA

São Bernardo do Campo
2009

JOSE ROBERTO ZAMPIERI JUNIOR

O USO DA SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO A ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT VISANDO O AUMENTO DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA

Dissertação de Mestrado em Produção apresentada ao Centro Universitário da FEI para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, orientado pelo Prof. Dr. Alexandre Massote

São Bernardo do Campo
2009

José Roberto Zampieri Júnior

O uso da simulação como ferramenta de apoio a análise de alternativas de layout visando o aumento de capacidade de produção do sistema de manufatura

Mestrado em Engenharia de Produção
Centro Universitário da FEI

Comissão Julgadora

____
Orientador e Presidente

____
Examinador 1

____
Examinador 2

São Bernardo do Campo
______/______/ 2009

Dedico este trabalho ao meu orientador, meus pais, meus irmãos, meus amigos e, principalmente, a minha esposa que tanto amo, por me apoiar nesta longa e difícil trajetória e por compreender todo o tempo que foi dedicado a este trabalho.

Agradecimentos

Aos colegas da Produção de Engrenagens, aos Engenheiros José Antonio Ghilardi, Adelino Peters, Paulo Rogério Albuquerque, Frank Maier e Raimundo Remlinger que me incentivaram e me orientaram em meu desenvolvimento profissional.

Agradeço aos colegas do mestrado, Mário Wanderley, José Nicodemos, Bruno Bloise e Benedito Teodoro, que me apoiaram e me ajudaram durante os estudos.

Agradeço também a todos os meus Professores, Mestres e Doutores, que de uma forma ou de outra me orientaram e assessoraram nas pesquisas, análises, enfim em todo o desenvolvimento para que este trabalho fosse conduzido e concluído de maneira clara e objetiva.

Aos companheiros de pesquisa: Manoel Parente, Adelso Guissoni, Celso Pedro Pinto e Rogério Reina, pelo apoio e enriquecedoras discussões técnicas durante a pesquisa.

Ao Professor Dr. Alexandre Massote, meu orientador, que me proporcionou enriquecedores e crescentes desafios aliados com o seu profundo conhecimento sobre o tema desenvolvido, seu apoio e sua costumeira dedicação na orientação que permitiram a conclusão deste trabalho.

Finalmente, um agradecimento especial para minha família, pela confiança e atenção em mim depositada e, principalmente, a Deus, pela graça desta realização.

“Um pessimista vê uma dificuldade em
cada oportunidade; um otimista vê
uma oportunidade em cada dificuldade”

(Winston Churchill)

Resumo

A complexidade envolvendo o processo de tomada de decisão em investir na produção para uma determinada demanda, desde a escolha de um meio até o melhor período para a sua instalação, é fundamental para a manutenção da competitividade de uma empresa dentro de um mercado onde a busca por melhores resultados é uma atividade primordial. Este trabalho demonstra os benefícios em utilizar um modelo de simulação de um sistema produtivo, como suporte para a tomada de decisão em investimento. As facilidades que a modelagem oferece à gerência se tornam uma estratégia fundamental para uma tomada de decisão correta. O conhecimento da capacidade produtiva, a identificação dos postos gargalo, a possibilidade em experimentar outras soluções, outros layouts, testar essas modificações antes da implantação no sistema real são as vantagens que este trabalho pretende ilustrar. A modelagem do sistema produtivo é importante para a empresa, pois evita a interrupção da produção em função de uma nova modificação. Os investimentos realizados pontualmente, e sem excessos, são fatores substanciais para a sobrevivência das empresas. A utilização quase que total da capacidade produtiva de um sistema é a questão central. Em vista destas necessidades, este trabalho abre a oportunidade de uma nova abordagem sobre o processo de investimento.

Palavras chaves: Simulação, modelagem, usinagem e célula de manufatura.

Abstract

The complexity involving the process of making decision in investing in the production for a determined demand, since the choice of the means to the best period for its installation, is basic for the maintenance of the competitiveness of a company within a market where the search for the best results is an essential activity. This work demonstrates the benefits of using a simulation model of a productive system as a support for the decision making in investment. The facilities that the modeling offers the management becomes a basic strategy for an assertive decision making. The knowledge of the productive capacity, the identification of the bottleneck positions, the possibility of trying other solutions, other layouts, testing these modifications before the implementation in the real system, are the advantages that this work intends to illustrate. The modeling of the productive system is important for the company, therefore it prevents the interruption of the production due to a new modification. Making investments at the right spot and without excess are key factors for the survival of the companies. The use of almost all productive capacity of a system is the central question. In view of these necessities, this work opens the opportunity of a new approach on the investment process.

Keywords: Simulation, modeling, machining and cellular manufacturing.

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Sumário

1. INTRODUÇÃO

O complexo e dinâmico processo para a fabricação de engrenagens é provocado por variações de demanda do cliente. A seleção de equipamentos, máquinas e infraestrutura para tal demanda, é a principal chave para o sucesso do processo de fabricação. A tomada de decisão para o investimento em novos equipamentos é realizada pela gerência, baseadas principalmente na sua intuição e na sua experiência, isto em decorrência da complexidade do processo de produção. Estas decisões, de onde e como investir, estão longe de serem consideradas ótimas, em parte, também, por falta de conhecimento da capacidade produtiva do sistema. Não há uma utilização eficiente do parque fabril. A subutilização das máquinas e a dificuldade de identificação dos postos gargalos leva a gerência a um investimento equivocado e distante da real necessidade. O principal objetivo deste trabalho é demonstrar como a utilização de um modelo de simulação de produção pode auxiliar a gerência na tomada de decisão entre as possíveis alternativas de aumento da capacidade de produção, quando há necessidade de atender a uma nova demanda de produção. Para tanto o modelo de simulação desenvolvido neste trabalho será aplicado na produção de engrenagens para motores a diesel em uma indústria automobilística cujo nome será mantido sob sigilo. A utilização de um modelo para a simulação da produção se faz necessário em função da necessidade de verificação da capacidade produtiva das máquinas e para a verificação do tempo gasto com movimentação e transporte de peças. Através de uma análise minuciosa dos resultados, é possível verificar onde ocorrem as perdas de produção, em decorrência de acúmulo excessivo de peças, do excesso de movimentação, superprodução, operações em geral, que não agregam valor ao produto e encarecem e dificultam o processo de produção alem de obscurecer a real necessidade do sistema por novas máquinas.

1.1. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são: (1) Demonstrar como a utilização de um modelo de simulação de produção pode auxiliar a gerência na tomada de decisão entre as possíveis alternativas de aumento da capacidade de produção, quando há necessidade de atender a uma nova demanda de produção. (2) Verificar a possibilidade de aumento da capacidade produtiva de um sistema de manufatura através da melhoria do layout. (3) Ter uma ferramenta ágil que

permita uma rápida adaptação entre a capacidade produtiva com a flutuação de demanda. (4) Buscar a minimização da necessidade de compra de novos equipamentos para o aumento da capacidade de produção.

1.2. Perguntas a serem respondidas

Em função da preocupação em se atender a variação da demanda e de se fazer o uso máximo dos equipamentos de um parque fabril, eliminando-se a ociosidade, torna-se necessário um planejamento eficiente da produção para respostas rápidas e assertivas. Com esse propósito, foi desenvolvido este trabalho, para auxiliar e demonstrar um caminho para a solução de tais problemas na empresa onde o estudo foi elaborado. Basicamente, são três perguntas a serem respondidas:

1– Um estudo mais adequado de layout pode eliminar a necessidade de investimentos em novos equipamentos?

2– A simulação possui flexibilidade, agilidade, confiabilidade e facilidade de uso para as tomadas de decisão em estudo?

3– A simulação fornece parâmetros que permitem uma análise que leva a melhor utilização dos recursos de produção, eliminando em algumas situações a necessidade de investimentos em novos equipamentos?

1.3. Justificativa

Um processo de fabricação de engrenagens, composto por máquinas operatrizes, mais todo o processo logístico de transporte e abastecimento de peças, onde abastecer, quando realizar o abastecimento de peças na máquina, qual a próxima peça a ser fabricada, quanto produzir, até, finalmente, a chegada da peça no ponto de consumo nas linhas de montagem (cliente), forma um complexo sistema produtivo, quando se tem vários tipos diferentes de engrenagens com processos de fabricação particulares e uma oscilação de produção,

ocasionada pela demanda, que dificulta uma visão de longo prazo para a gerência. A compra de uma máquina específica para usinagem de engrenagem pode levar anos, desde a consulta aos fabricantes, elaboração do caderno de encargos com as características técnicas necessárias da máquina a ser entregue pelo fabricante, construção da máquina, transporte, até a aprovação da máquina para a produção na fábrica, é um processo lento e demorado. Uma tomada de decisão incorreta ou tardia em um investimento na compra de uma máquina, além de causar um desperdício para a empresa, pode prejudicar a produção em um futuro não muito distante. Além do mais, se torna necessário garantir uma máxima utilização do parque fabril, garantindo uma alta rentabilidade. Torna-se, assim, necessária a utilização de um meio para a avaliação da produtividade de uma planta, para garantir que os recursos estejam sendo utilizados em sua plena capacidade. O estudo, no qual possíveis modificações no layout e no fluxo das peças podem alterar significativamente o montante de produtos produzidos, também é válido, pois elimina a hipótese da compra de novos equipamentos.

1.4. Abrangência do estudo

Este trabalho se limita a analisar o aumento da capacidade de produção através de mudanças no layout. Não são analisadas as possibilidades de compra de novos equipamentos, mudanças de tecnologia de manufatura, automação e dimensionamento de mão de obra.

1.5. Metodologia

Os trabalhos científicos requerem uma abordagem sistêmica. Dependendo do tipo de estudo, existem métodos específicos com enfoque qualitativo ou quantitativo (BRYMAN, 2008). Tendo como referências os objetivos e as perguntas que se quer responder o método de pesquisa mais adequado a ser usado neste trabalho é o quantitativo.

1.6. Organização do restante do estudo

O capítulo 2 (produção e tecnologia da manufatura) apresenta a revisão bibliográfica, onde são abordados os fundamentos teóricos sobre a manufatura e a tecnologia envolvida na produção, quais os principais tipos de layouts existentes e as suas vantagens e desvantagens.

O capítulo 3 (estratégias para a produção) apresenta a revisão bibliográfica sobre as estratégias de produção existentes, a complexidade e as etapas do processo para a sua formação.

O capítulo 4 (simulação da produção) apresenta uma revisão bibliográfica acerca das características de um modelo de simulação de produção, quais são as suas vantagens e como as informações obtidas podem auxiliar a gerência, as principais técnicas utilizadas e como uma modelagem pode auxiliar os gestores em uma tomada de decisão.

O capítulo 5 (empresa avaliada) apresenta a empresa avaliada, as características dos processos produtivos, as suas máquinas e peças.

O capítulo 6 (resultados obtidos) apresenta os resultados obtidos com as mudanças de layout e, finalmente, o capítulo 7 (conclusões e recomendações) apresenta as conclusões e as recomendações para a indústria.

2. PRODUÇÃO E TECNOLOGIA DA MANUFATURA

2.1 Introdução

Segundo Costa (1995), um novo ambiente de negócios, surgindo no final do século XX, leva as organizações empresariais a um processo de transformação, tanto na maneira de realizar negócios, quanto na própria estrutura interna, com o propósito de garantir a competitividade de seus produtos e serviços, e os motivos que ocasionam esta nova situação no cenário industrial estão relacionados abaixo:

- A crescente globalização da economia, com o aumento do fluxo de capitais internacionais e formação de novos blocos regionais de livre comércio.
- A maturidade de alguns segmentos de mercado, com a afirmação da vontade do cliente e do respeito às suas necessidades e expectativas;
- O avanço das telecomunicações e aumento da capacidade de difusão de informações;
- Foco nos valores das corporações e consequente aumento da eficiência e capacidade dos processos.

O aumento da competitividade, devido à globalização das empresas, dos mercados produtores e consumidores, tem exigido cada vez mais a formulação de uma estratégia competitiva adequada às exigências do mercado.

De acordo com Slack (1993), uma atividade de manufatura "saudável" proporciona à empresa a capacidade para competir com a concorrência, o vigor para manter um melhoramento uniforme de desempenho competitivo e, talvez o mais importante, proporciona a versatilidade operacional que pode responder aos mercados crescentes voláteis e aos concorrentes. Por outro lado, uma manufatura "doente" prejudicaria o desempenho da empresa, não importando quanto afiada seja sua direção estratégica.

Segundo Slack (1993, p.13), "a estratégia somente significa algo quando pode ser traduzida em ação operacional". É importante salientar que a meta é desenvolver uma operação de manufatura que possa dar a empresa uma vantagem preponderante no seu mercado. Uma vantagem embasada na produção, que conte com a função de manufatura para

proporcionar a "principal munição na batalha da concorrência". Acrescenta que o sistema produtivo deveria ser visto como uma função central na provisão da competitividade, não função dominante, mas a função proeminente - o motor competitivo da organização.

É útil, contudo, voltar aos seus fundamentos: todas as funções de manufatura são formadas por dois ingredientes: tecnologia e pessoas. O tipo de tecnologia e o tipo de pessoa que se escolhe para ter na operação, junto com sua organização e localização, definem a estrutura da operação.

2.2. Definições de célula de manufatura

Ao longo das pesquisas sobre célula de manufatura, foram encontradas várias considerações e definições para célula de manufatura. São comentados, a seguir, os resultados das pesquisas:

Para Ostwald (1997) é uma maneira simples de organizar a produção de uma empresa e que a célula de manufatura possui autonomia quando comparada com a administração clássica de outros processos. Em analogia com Suzaki (1993), se os processos que cercam um indivíduo, for visto o próximo processo como um cliente e o anterior como um fornecedor, então, cada um pode ser visto como um 'presidente' de sua área de responsabilidade, o qual proporciona produtos e serviços para satisfazer seus clientes.

Já Askin (1993,), utiliza o termo célula de manufatura para descrever um princípio da tecnologia de grupo que implica em dividir a manufatura em pequenos grupos de duas ou mais máquinas, onde cada grupo é dedicado a um tipo específico de peça. São poucos os casos que o número de máquinas ultrapassa cinco.

Wemmberlgv (1997, p.10), descreve célula de manufatura como “uma modalidade de operação, onde parte da produção da fábrica é manufaturada na célula”.

Para Groover (2003), se as peças forem classificadas dentro de famílias, através de uma inspeção visual, ou por uma classificação e codificação, ou por uma análise do processo produtivo, há uma vantagem em produzir estas peças usando células de manufatura em comparação com um processo tradicional de disposição de máquinas. Quando as máquinas

são agrupadas, o termo célula de manufatura é usado para descrever esta organização de trabalho. A fabricação celular é uma aplicação da tecnologia de grupo em que as máquinas similares ou os processos foram agregados em células, cada qual é dedicado à produção de uma peça ou de uma família de peças ou um grupo limitado de famílias. Segundo Groover (2003), os objetivos típicos em uma célula de manufatura são:

- Reduzir o tempo de fabricação com um menor tempo gasto na preparação das máquinas para uma peça diferente da atual, com um tempo manual de fabricação da peça menor e com um tempo de espera reduzido.

- Minimizar o estoque em processo. Tamanhos de lotes menores e prazos de execução mais curtos reduzem o investimento do capital em material.

- Melhorar a qualidade. Isto é possível permitindo que cada célula especialize-se em produzir um número menor de peças diferentes. Isto reduz variações do processo.

- Simplificar o programa de produção. A similaridade entre as peças dentro de uma família, reduz a complexidade do programa de produção. Ao invés de um programa de produção para peças, através de uma sequência operacional em um conjunto de máquinas com uma disposição de produção tradicional. As peças são programadas, simplesmente, através das células.

- Reduzir o tempo de preparação. Com a utilização de um grupo de ferramentas (gabaritos, dispositivos de controle e de produção) projetado para processar uma família de peças, ao invés de trabalhar com ferramentas específicas para cada peça, que são projetadas para um trabalho individual. Isto reduz o número de ferramentas individuais, exigidas assim como a quantidade de trabalho requerida para efetuar a mudança de ferramentas para a fabricação de uma nova peça.

2.3. Tecnologia de grupo

Ostwald (1997) define a tecnologia de grupo como uma filosofia de gerenciamento baseada no reconhecimento das similaridades existentes no desenho e manufatura de peças, envolvidas em um processo produtivo. Com a "familiaridade de peças manufaturadas", o

conceito de Tecnologia de Grupo identifica vantagens nas características básicas e de similaridades entre as peças manufaturadas. Como exemplo, uma fábrica produz um número grande de peças como eixos, peças de caldeiraria, discos de freio de automóveis e engrenagens. As peças seriam agrupadas de acordo com a familiaridade de suas características físicas, o que proporciona o agrupamento da produção de eixos, discos de freio de automóveis e engrenagens, sendo então a produção das peças de caldeiraria uma produção distinta da produção dos outros produtos.

Muitos resultados eficazes são obtidos com o uso da Tecnologia de Grupo, como: redução do tempo de setup, redução do estoque entre as fases do processo, melhor calendarização da produção, melhoria do fluxo de materiais, melhoria da qualidade, melhoria do controle do ferramental e uso sistêmico de planejamento de produção.

Na implementação da metodologia de Tecnologia de Grupo, as peças são classificadas de acordo com a similaridade. As similaridades das peças são caracterizadas por seu *design,* geometria do produto e tamanho, ou pela sua característica de manufatura, as etapas de produção da peça.

É importante salientar que a Tecnologia de Grupo não é uma ciência com fórmulas precisas, mas uma ferramenta que pode ser desenvolvida para cada situação contribuindo no discernimento dos processos produtivos e design das peças.

Groover (2003) salienta que a tecnologia de grupo é uma filosofia de fabricação, na qual peças similares são identificadas e agrupadas para o aproveitamento de suas similaridades no projeto e na produção. As peças similares são arranjadas em famílias de peças. Cada família possui características similares de projeto e/ou de fabricação. É razoável acreditar que o processamento de cada peça de uma família dada é similar, e este deve conduzir às eficiências na produção. As eficiências são atingidas, geralmente, pelo posicionamento do equipamento de produção em grupos de máquinas, ou células, para facilitar o fluxo de trabalho. Agrupando os equipamentos de produção em células de manufatura, cada célula se especializa na produção de uma família de peça. Isto é chamado de fabricação celular.

Segundo Groover (2003), a tecnologia de grupo e a fabricação celular são aplicáveis em uma grande variedade de situações de fabricação. A tecnologia de grupo é mais apropriadamente aplicada sob as seguintes circunstâncias:

- A planta usa atualmente um tipo de layout de processo, e esta resulta em muito esforço manual para a movimentação de material, estoque elevado em processo e período de fabricação longo.

- As peças podem ser agrupadas em famílias de peças. Cada célula de máquinas é projetada para produzir uma dada família de peças ou limitado grupo de famílias de peças. Assim, é possível agrupar as peças feitas na planta em famílias. Contudo, seria incomum encontrar uma planta de produção de volume médio em que as peças não poderiam ser agrupadas em famílias de peças.

2.3.1. Família de peças

Para Groover (2003) uma família de peças é uma coleção de peças similares ou por causa da forma e do tamanho geométrico ou porque as etapas de processamento exigidas em sua manufatura são similares. As peças dentro de uma família são diferentes, mas suas similaridades são próximas o bastante para merecer sua inclusão como membro da família de peças. . As figuras 2.1 e 2.2 mostram famílias diferentes de duas peças. As duas peças na figura 2.1 são muito similares em termos de projeto geométrico, mas completamente diferentes em termos de fabricação por causa das diferenças nas tolerâncias, nas quantidades de produção e no material.
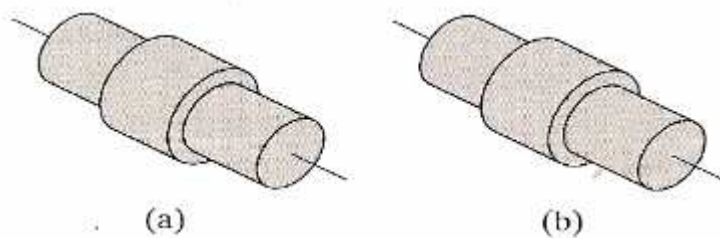
Fig.2.1 – Peças cilíndricas. Peças geometricamente semelhantes, mas com processos de usinagem distintos. A peça (a) de material composto por uma liga de cromo e molibdênio, com uma tolerância de décimos de milímetros produzida, por exemplo, em um torno e a peça(b) de aço carbono com uma tolerância de milésimos de milímetros, produzida em uma retificadora cilíndrica de alta precisão.

Fonte: “Adaptado de” Groover, 2003, p.422

As dez peças mostradas na figura 2.2 constituem uma família de peças na produção, mas suas geometrias diferentes fazem-nas parecer completamente diferentes do ponto de vista do projeto.
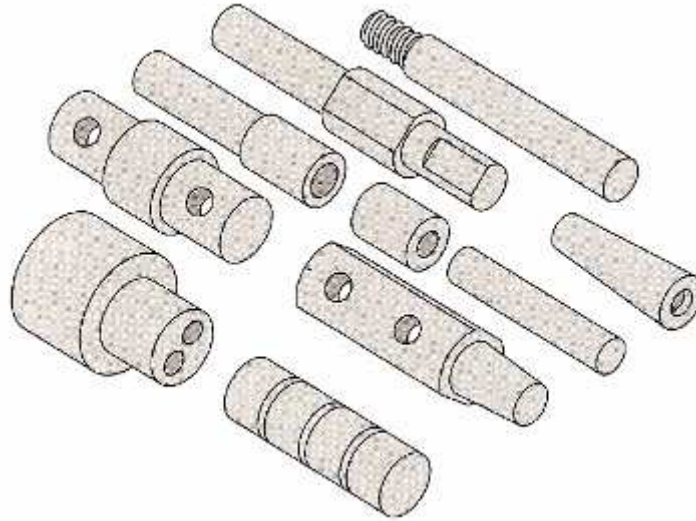
Fig.2.2 – Uma família de peças com processos de usinagem similares, mas diferentes atributos geométricos. Todas as peças são usinadas em tornos, algumas exigem um posterior acabamento em uma retificadora cilíndrica.

Fonte: “Adaptado de” Groover, 2003, p.423

Uma das vantagens importantes da fabricação de grupos de peças dentro de famílias pode ser explicado através das figuras 2.3 e 2.4. A figura 2.3 mostra um tipo de processo em uma planta para a produção de grupo de peças. As várias máquinas ferramentas são dispostas pela sua respectiva função. Há uma seção de tornos, uma de fresadoras, uma de furadeiras, uma de retificadoras e assim por diante. Para a máquina fazer uma parte da peça, esta deve ser transportada entre as seções, onde talvez tenha que visitar a mesma seção diversas vezes.
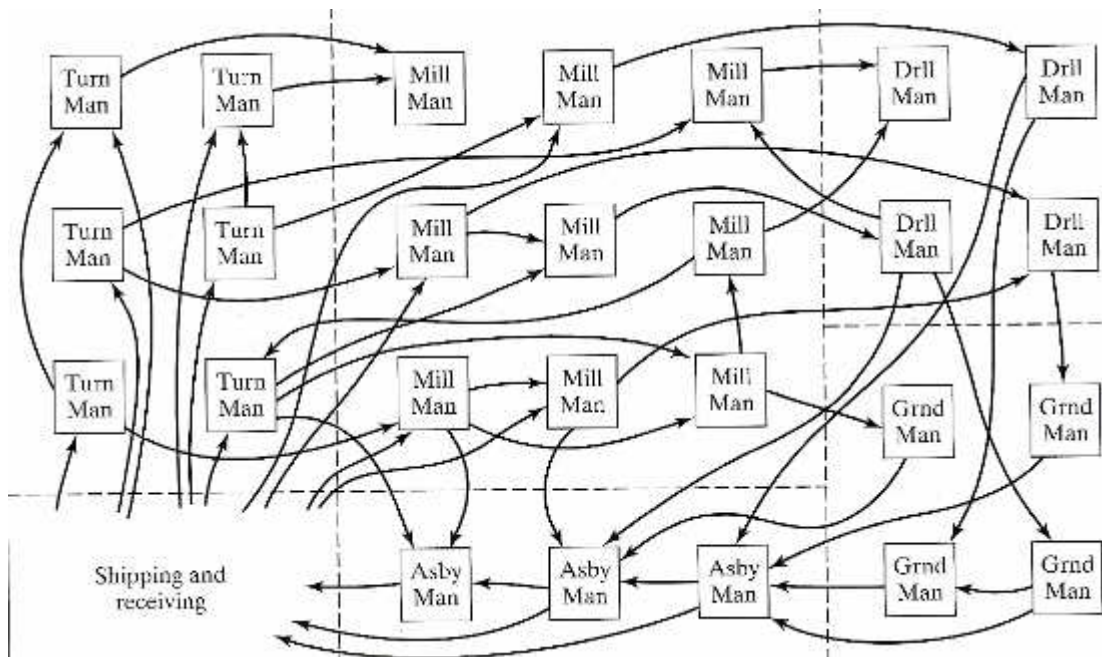
Fig.2.3 – Layout de uma planta produtiva. ("Turn"= Torneamento. "Mill"= Fresamento. "Drll"= Furação. "Grnd"= Retifica. "Asby"= Assembly. "Man"= Operações manuais. As setas indicam o fluxo de material pela planta. A linha tracejada indica a separação das máquinas dentro do departamento)

Fonte: "Adaptado de" Groover, 2003, p.423

Para Groover (2003), isto conduz a uma quantidade significativa de manipulação de material, grande estoque em processo, muitas preparações de máquinas, tempos de produção longos, e custos elevados. A figura 2.4 mostra uma planta de produção com capacidade equivalente, mas as máquinas são dispostas em células. Cada célula é organizada para a produção de uma família de peças em particular. Com isso é possível conquistar vantagens na redução do tempo, gasto na preparação de máquinas para peças diferentes, poucas preparações (em alguns casos, nenhuma preparação é necessária), menos estoque em processo, e tempos de produção mais curtos.
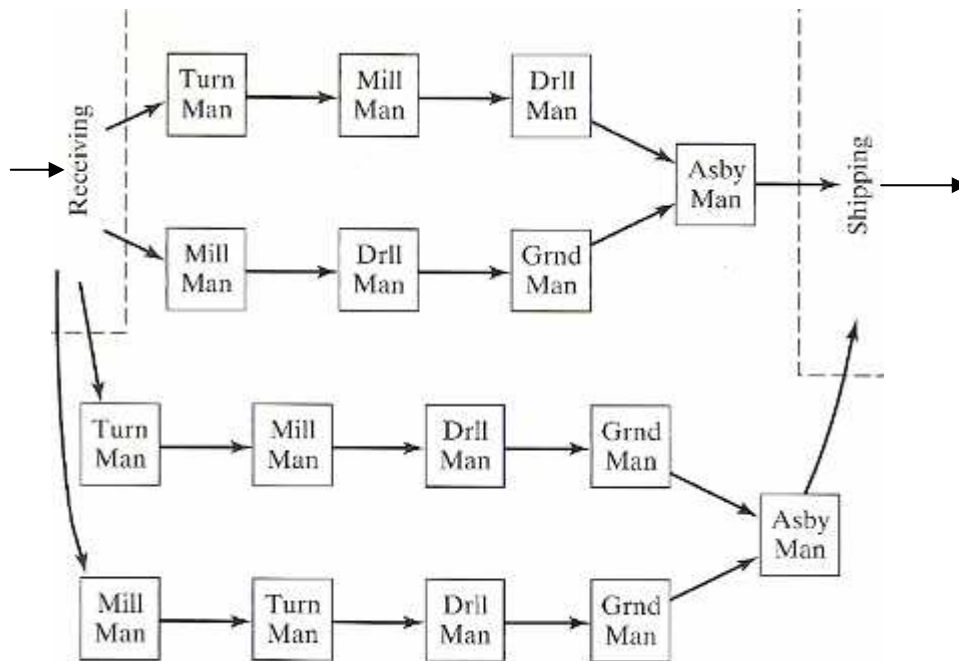
Fig.2.4 – Layout em célula. ("Turn"= Torneamento. "Mill"= Fresamento. "Drll"= Furação. "Grnd"= Retifica. "Asby"= Assembly. "Man"= Operações manuais. As setas indicam o fluxo de material pela planta.)

Fonte: "Adaptado de" Groover, 2003, p.424

2.3.2 Agrupamento das peças em famílias

Segundo Groover (2003) existem três métodos gerais para o agrupamento de peças em famílias. Todos os três são demorados e envolvem a análise de muitos dados por pessoal corretamente treinado. Os três métodos são: (1) a inspeção visual, (2) classificação e codificação da peça e a análise de fluxo da produção (3).

O método da inspeção visual é método menos sofisticado e menos caro. Consiste na classificação das peças em famílias olhando as peças físicas ou suas fotografias e arranjando-as nos grupos que têm características similares.

O método de classificação e de codificação é o mais demorado dos três métodos. Na classificação e codificação, as similaridades entre as peças são identificadas, e estas similaridades são relacionadas em um sistema de codificação. Duas categorias de similaridades de peças podem ser distintas: (1) atributos do projeto, que são estados relacionados com as características da peças tais como a geometria, o tamanho e o material; (2) atributos de fabricação, que consideram a sequência das etapas de processamento exigidas

para fazer uma peça. Os sistemas de classificação e de codificação são planejados para incluir os atributos de projeto e os atributos da fabricação da peça. As razões para usar um código incluem:

- Revisão dos projetos existentes. Um projetista, lidando com a tarefa de desenvolver uma peça nova, pode realizar uma revisão dos projetos já existentes para verificar se uma peça similar já existe. Uma mudança simples em uma peça existente tomaria muito menos tempo do que projetar uma peça nova inteira.

- Planejamento automatizado do processo. O código da peça para uma peça nova pode ser usado para procurar por processos para peças existentes, com códigos idênticos ou similares.

- Projeto da célula de manufatura. Os códigos da peça podem ser usados para projetar as células de máquinas, capazes de produzir todas as peças de uma família particular.

Um número de sistemas de classificação e de codificação são descritos na literatura e há um número de pacotes disponíveis no comércio de codificação. Entretanto, nenhum dos sistemas foi adotado universalmente. Uma das razões para isto é que um sistema da classificação e de codificação deve ser personalizado para uma companhia ou uma indústria dada. Um sistema que seja o melhor para uma companhia não pode ser o melhor para uma outra.

2.4 Características da célula de manufatura

Para Wemmberlov (1997), as características que mais distinguem uma célula de manufatura são conter maquinário ou processo não semelhantes (embora muitas unidades dos mesmos equipamentos possam existir, devido às necessidades de capacidade ou flexibilidade) e caracterizados em uma área separada e ser projetada para manufaturar um conjunto peculiar de peças semelhantes, também chamado de família de peças. Para a compreensão da natureza e complexidade do controle e planejamento da produção celular, é necessário levar em consideração a ampla variedade possível das configurações das células de manufatura.

Groover (2003) classifica as células de manufatura acordo com o número de máquinas e com o grau de fluidez do material entre as máquinas. As quatro configurações mais comuns de célula de manufatura são:

1. Célula de uma única máquina.

2. Grupo de máquinas em célula com trabalho manual.

3. Grupo de máquinas em célula com trabalho manual semi-integrado.

4. Produção em célula flexível ou sistema de produção flexível.

Como o nome indica, a célula de uma única máquina consiste em uma máquina mais dispositivos e ferramentas de apoio. Este tipo de célula pode ser aplicado às peças cujo atributos permitam que sejam realizados através de um tipo básico de processo, tal como tornear uma peça cilíndrica ou fresá-la. Por exemplo, a peça da figura 2.5 poderia ser produzida em um torno convencional.
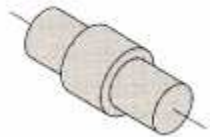
Fig.2.5 – Peça cilíndrica.

Fonte: “Adaptado de” Groover, 2003, p.422

Uma célula de máquinas com trabalho manual é mais do que um layout de máquinas usadas coletivamente para produzir uma ou mais famílias de peças. Não há nenhum recurso para o movimento mecanizado das peças entre as máquinas na célula. Os operadores que trabalham na célula executam a função de manipulação do material. A célula é organizada frequentemente em uma disposição em forma de U. Esta disposição é considerada apropriada quando há uma variação no fluxo de trabalho entre as peças feitas na célula. Igualmente, permite que os trabalhadores multifuncionais movam-se, facilmente, entre as máquinas. Uma célula de máquinas com trabalho manual é algumas vezes projetada em um tipo de disposição no processo sem a necessidade de modificação do equipamento. Isto é feito simplesmente atribuindo determinadas máquinas e restringindo seu trabalho às famílias específicas de peças.

Isto permite que muitos dos benefícios da fabricação celular sejam conseguidos sem a despesa de modificar um equipamento. Obviamente, os benefícios da manipulação material na tecnologia em grupo são minimizados com esta organização.

A célula de máquinas com manipulação semi-integrada usa um sistema de manipulação mecanizado, tal como um transporte, para mover as peças entre máquinas na célula.

Já o sistema de fabricação flexível combina um sistema de manipulação de material inteiramente integrado com as estações de processamento automatizadas.

2.5. Determinação da capacidade e turnos de trabalho

Segundo Martins e Laugeni (1998), para a determinação da capacidade de produção não é suficiente somente a análise das vendas anuais, deve-se tomar um conjunto de decisões com relação à capacidade. Será a capacidade nominal, a capacidade máxima ou um valor de capacidade para atender demandas futuras? Com relação ao número de turnos de trabalho, serão programados um, dois ou três? Essas decisões devem ser analisadas com relação à capacidade financeira da empresa.

Somente após a determinação da capacidade e da quantidade de turnos de trabalhos a serem utilizados é que podem ser iniciados os procedimentos para o desenvolvimento do layout. A capacidade de produção da empresa depende dos gargalos, isto é, dos processos ou dos equipamentos que limitam a capacidade de produção e que devem ser identificados.

2.6. Layout para sistemas de produção

A competitividade industrial depende da redução de custos como aquelas relacionadas diretamente com elaboração de eficientes layouts. Em uma manufatura, o planejamento do layout determina a eficácia na qual esta planta lidará com as atividades de produção (GOPALAKRISHNAN; WENG; GUPTA, 2003).

Dentro do planejamento de um layout para a manufatura, é fundamental o dimensionamento das áreas onde serão instalados os equipamentos com o intuito de se

minimizar os custos relacionados com a interação entre os departamentos de produção (ANJOS; VANNELLI, 2006). O layout necessita ser flexível a ponto de ser adaptável com as atuais circustâncias (ZHAO; TSENG, 2007).

O layout consiste na configuração de uma planta para fabricar ou montar determinados tipos de produtos (MONTREUIL; VENKATADRI, 1991).

Segundo Martins e Laugeni (1998), a sequência lógica a ser seguida para a elaboração do layout é:
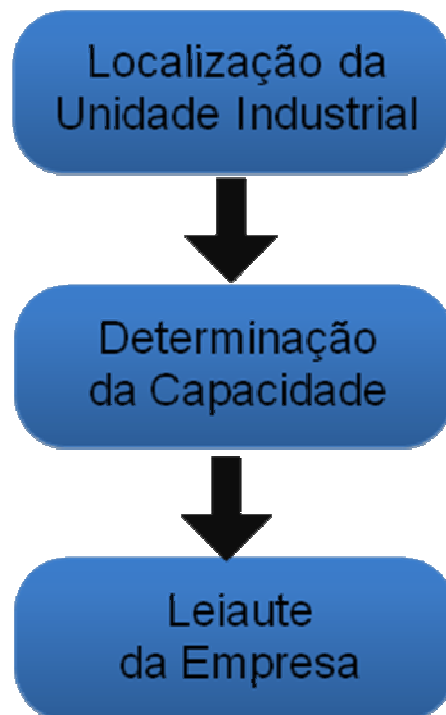
Fig.2.6. – Representação das etapas de elaboração de um layout de célula de manufatura

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.108.

Após ter-se determinado a localização da nova unidade industrial deve-se determinar sua capacidade como dado inicial para o layout.

2.6.1. Etapas para a elaboração do layout

Segundo Martins e Laugeni (1998), para a elaboração do layout são necessárias as seguintes informações:

- Especificações do produto.

- Características do produto: dimensões, características especiais.
- Quantidades de produtos e de materiais.
- Sequência de operações e de montagem.
- Etapas necessárias para cada equipamento: incluindo espaços para movimentação do operador, estoque e manutenção
- Informações sobre recebimento, expedição, estocagem de matérias-primas e produtos acabados, e transportes.

As etapas necessárias para a elaboração do layout são:

- Determinar a quantidade a produzir.
- Planejar o todo e depois as partes.
- Planejar o ideal e depois o prático.
- Seguir a sequência: local, layout global, layout detalhado, implantar e reformular sempre que necessário (até onde for possível).
- Calcular o número de máquinas.
- Selecionar o tipo de layout e elaborar o layout considerando o processo e as máquinas.
- Planejar o edifício.
- Desenvolver instrumentos que permitam a clara visualização do layout.
- Utilizar a experiência de todos.
- Verificar o layout e avaliar a solução.
- "Vender" o layout.
- Implantar.

Em geral, existe uma grande relação entre a quantidade de material transportado e a proximidade dos departamentos onde as atividades são realizadas. Quanto maior for a quantidade de material a ser movimentado, menor será a distância entre as estações de trabalho (DJASSEMI, 2007).

Conforme Slack (1997), no projeto de um layout há algumas razões práticas pelas quais as decisões que o envolvem são importantes na maioria dos tipos de produção.

Projetar um layout é frequentemente uma atividade difícil e de longa duração devido às dimensões físicas dos recursos de transformação movidos.

Modificar este layout posteriormente pode interromper seu funcionamento suave, levando a insatisfação do cliente ou a perdas na produção.

Se o layout está errado, pode levar a padrões de fluxo excessivamente longos ou confusos, estoque de materiais, filas de clientes formando-se ao longo da operação, inconveniências para os clientes, tempos de processamento desnecessariamente longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos.

A criação de um novo layout pode ser cara e frequentemente interrompe todo o processo produtivo, em função disto muitos gerentes preferem uma eventual ineficiência do layout existente à reconfiguração de todo o sistema produtivo que pode rapidamente se tornar obsoleto com a entrada de um novo produto (BENJAAFAR; HERAGU; IRANI, 2002).

O layout deve ser flexível em termos de maximizar os benefícios em uma organização quando futuras mudanças no produto, processo e necessidade de expansão da produção forem realizadas (GOPALAKRISHNAN; WENG; GUPTA, 2003).

2.6.2. Tipos de layout

Segundo Martins e Laugeni (1998), os principais tipos de layout são:

- Layout celular.
- Layout por processo ou funcional.
- Layout em linha.
- Layout por posição fixa.
- Layout combinado.

2.6.3. Layout Celular.

Conforme Martins e Laugeni (1998), a célula de manufatura consiste em arranjar em um só local máquinas diferentes que possam fabricar o produto inteiro (Figura 2.7). O material se desloca dentro da célula buscando os processos necessários, suas caracteristicas são:

- Relativa flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto.
- Específico para uma família de produtos.
- Diminui o transporte de material.

- Diminui o estoque.
- Centraliza a responsabilidade sobre o produto fabricado.
- Enseja satisfação no trabalho.
- Permite elevado nível de quantidade e de produtividade.

De acordo com Slack (1997), os recursos a serem transformados movimentam-se para uma específica operação na célula na qual todos os dispositivos transformadores para as suas necessidades imediatas se encontram à disposição. A célula em si pode ser projetada segundo o layout por processo ou por produto. Depois de serem processados na célula, os recursos transformados podem prosseguir para outra célula. De fato, o layout celular é uma tentativa de trazer alguma ordem para a complexidade de fluxo que caracteriza o layout por processo.
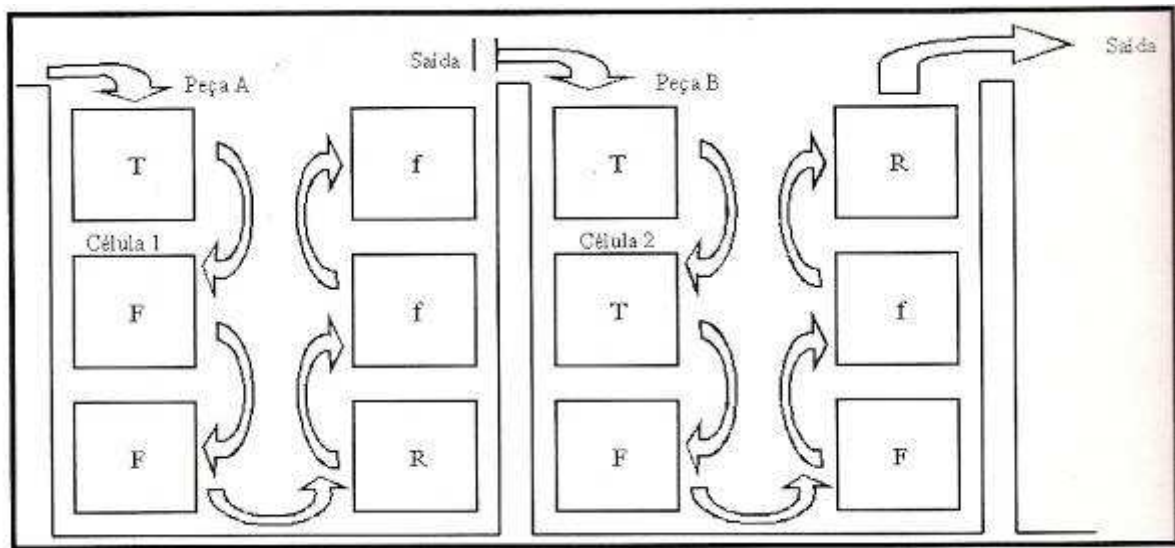
Fig.2.7 – Layout Celular.

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.112.

Benjaafar (2002), aponta que em células com formato em “U” as distâncias percorridas pelo operador dentro da célula são minimizadas. Exibindo um corredor em comum onde são realizadas todas as viagens pelos operadores dentro da célula, proporcionaria uma maior eficiência no transporte das peças entre postos.

Para Groover (2003), determinar a disposição mais apropriada da célula depende dos fluxos das peças produzidas na célula. Quatro tipos de movimento de peças podem ser

distinguidos em um sistema de produção, quando o sentido do fluxo de trabalho é definido como sendo da esquerda para a direita:

- Operação de repetição, na qual uma operação consecutiva é realizada na mesma máquina, de modo que a peça não se move realmente;

- Movimento em sequência, na qual a peça se move da máquina atual para um vizinho imediato em um sentido progressivo;

- Contornando o movimento, na qual a peça que se encontra em uma determinada máquina e se move para frente em uma outra etapa do processo que pode ser composta por duas ou mais máquinas e;

- Monvimento em sentido inverso, em que a peça se move da máquina atual, no sentido contrário, para uma outra máquina.

Segundo Groover (2003) quando a aplicação consiste exclusivamente de movimentos sequênciados, a disposição em linha é mais apropriada. Uma disposição em forma de U também é bem apropriada neste caso, com a vantagem de uma interação mais próxima entre os trabalhadores na célula. Quando a aplicação inclui operações repetidas, então múltiplas estações (máquinas) são frequentemente exigidas. Para as células que exigem movimentos contornados, a disposição em U é apropriada. Quando há necessidade de retroceder os movimentos, a disposição retangular ou redonda é apropriada para acomodar a recirculação das peças dentro da célula.

Os fatores adicionais que devem ser esclarecidos no projeto da célula incluem:

- Quantidade de trabalho a ser realizado na célula. Isto inclui o número de peças por ano e o tempo de processamento por peça em cada estação. Estes fatores determinam a carga de trabalho que deve ser realizada pela célula e consequentemente o número de máquinas que devem ser incluídas, assim como custos de operação totais da célula e o investimento que podem ser justificados;

- Tamanho da peça, forma, peso, e outros atributos físicos. Estes fatores determinam o tamanho e o tipo de equipamento de manipulação de material e de processamento que deve ser usado.

2.6.4. Layout por processos ou funcional

De acordo com Martins e Laugeni (1998), em um layout por processo ou funcional (Figura 2.8), todos os processos e os equipamentos do mesmo tipo são desenvolvidos na mesma área e também operações ou montagens semelhantes são agrupadas na mesma área. O material se desloca buscando os diferentes processos e as principais caracteristicas são:

- Flexível para atender as mudanças de mercado;
- Atende a produtos diversificados em quantidades variáveis ao longo do tempo;
- Apresenta um fluxo longo dentro da fábrica;
- Adequado à produções diversificadas em pequenas e médias quantidades;
- Possibilita uma relativa satisfação no trabalho.
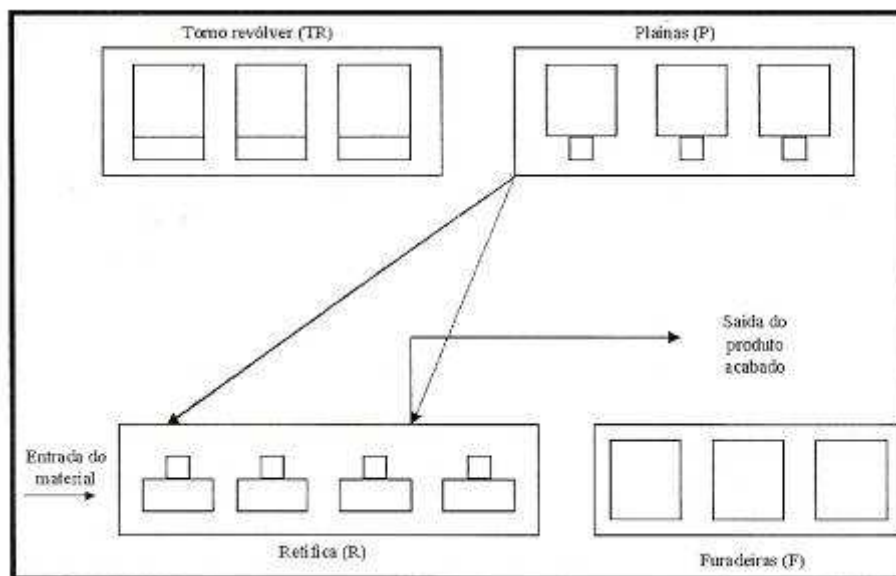
Fig.2.8 – Layout por processos ou funcional.

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.111.

Quando a variedade de produtos é alta e o volume de produção é baixo, um layout funcional com todos os recursos do mesmo tipo se encontram em um determinado local proporcionam uma maior flexibilidade no sistema (BENJAAFAR; HERAGU; IRANI, 2002).

Em contrapartida, se tem uma movimentação de materiais excessiva, um programa de produção complexo, alto tempos para a produção *(lead-time)* e um alto volume de estoque em processo (FLYNN; JACOBS, 1986; SHAFER; CHARNES, 1998; MONTREUIL, 1999; SHARPER; GREENE, 1993; APUD BENJAAFAR; HERAGU; IRANI, 2002).

2.6.5. Layout em linha.

Para Martins e Laugeni (1998), um layout em linha, as máquinas ou as estações de trabalho são colocadas de acordo com a sequência das operações e são executadas de acordo com a sequência estabelecida sem caminhos alternativos. O material percorre um caminho previamente determinado dentro do processo (Figura 2.9) e as principais caracteristicas são:

- Para produção com pouca ou nenhuma diversificação, em quantidade constante ao longo do tempo e em grande quantidade;
- Alto investimento em máquinas;
- Costuma gerar monotonia e estresse nos operadores;
- Pode apresentar problemas com relação à quantidade dos produtos fabricados.
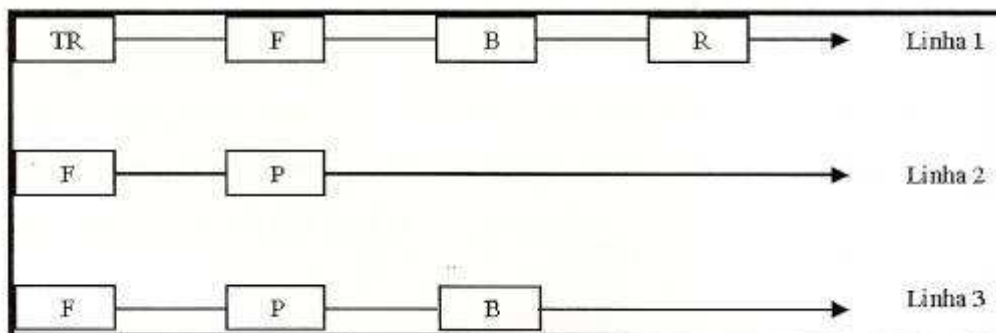
Fig.2.9 – Layout em linha.

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.111.

Conforme Groover (2003), um layout em linha consiste em um sistema de fabricação com múltiplas estações e uma série de estações de trabalho, de modo que a peça ou o produto

se mova de uma estação para a seguinte, e uma parcela do trabalho total é executada em cada estação. As linhas de produção são associadas geralmente com a produção em massa. As circunstâncias que favorecem o uso de uma linha de produção são:

- A quantidade de peças ou de produtos a serem feitos é muito elevada (até milhões de unidades).

- As unidades de trabalho são idênticas ou muito similares (Assim elas exigem operações similares para serem fabricadas dentro de uma mesma sequência).

- O trabalho total pode ser dividido em tarefas, separadas de duração aproximadamente igual que podem ser atribuídas a postos de trabalho individuais.

A taxa de produção da linha é determinada por sua estação mais lenta. Estações de trabalho, cujo ritmo é mais rápido, necessitam esperar pelas estações mais lentas, denominadas estações gargalo. Transferir uma unidade de trabalho de uma estação à seguinte é realizado geralmente por um sistema de transporte mecânico, embora o trabalho seja simplesmente empurrar a unidade de trabalho pelas estações.

As linhas de produção são usadas para operações de processamento ou de montagem. É incomum que ambos os tipos de operação sejam executados na mesma linha. As linhas de produção são manualmente operadas, ou automáticas.

2.6.6. Layout por posição fixa.

Segundo Martins e Laugeni (1998), o material permanece fixo em uma determinada posição e as máquinas se deslocam até o local executando as operações necessárias (Figura 2.10).

Características:

- Para um produto único, em quantidade pequena ou unitária e, em geral, não repetitivo. É o caso da fabricação de navios, grandes transformadores elétricos, turbinas, pontes rolantes, grandes prensas e outros produtos de grandes dimensões físicas.
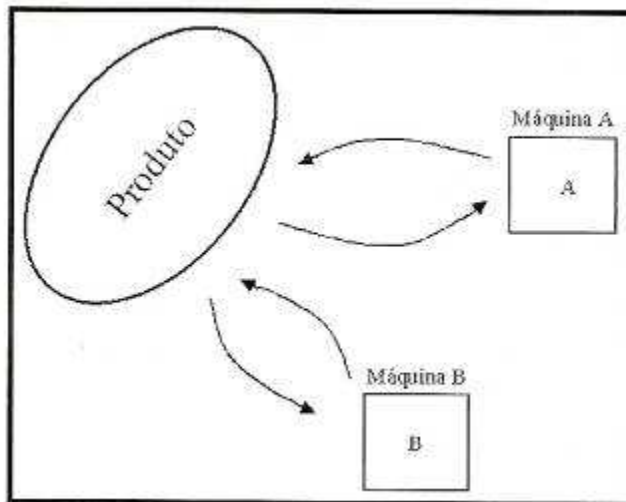
Fig.2.10 – Layout por posição fixa.

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.113.

2.6.7. Layout combinado ou misto.

Segundo Martins e Laugeni (1998), o layout combinado ocorre para que sejam aproveitadas em um determinado processo as vantagens do layout funcional e da linha de montagem (geralmente).

Pode-se ter uma linha constituída de áreas em sequência com máquinas de mesmo tipo (layout funcional), continuando, posteriormente com uma linha clássica (Figura 2.11) dando sequência na manufatura do produto.
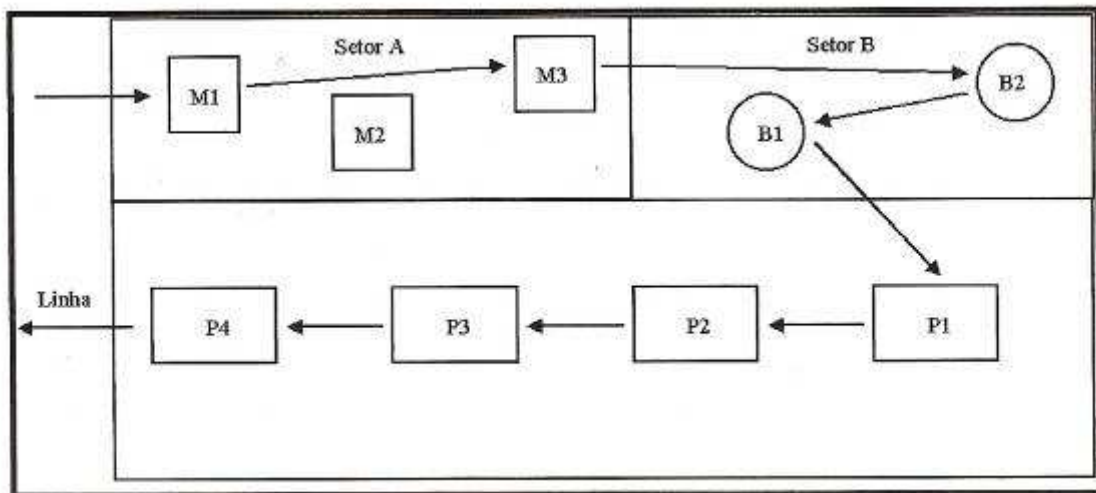
Fig.2.11 – Layout combinado.

Fonte: Martins e Laugeni, 1998, p.113.

2.7. Tipo de layout em função do volume e variedade.

Segundo Slack (1997), os exemplos anteriores dos cinco tipos básicos de layout mostram que o fluxo de materiais, informações e clientes dependerão bastante da específica configuração de layout escolhida. A importância do fluxo para uma operação dependerá de suas características de volume e variedade. Quando o volume é baixo e a variedade é relativamente alta, o "fluxo" não é uma questão central. Por exemplo, em operações de manufatura de satélites de comunicação, a maior probabilidade é que um layout posicional seja utilizado, porque cada produto é diferente dos outros e porque produtos "fluem" através da operação, muito pouco frequentemente. Sob estas condições, simplesmente não vale a pena arranjar os recursos de forma a minimizar o fluxo através da operação.

Com volumes maiores e variedade menores, o fluxo dos recursos transformados torna-se uma questão mais importante, que deve ser tratada pela decisão referente a layout. Se a variedade ainda é alta, entretanto, um layout definido completamente por fluxo torna-se difícil porque produtos ou clientes terão diferentes padrões de fluxo.

Quando a variedade de produtos e serviços se reduz de forma que um grupo de clientes com necessidades similares possa ser identificado, mas a variedade ainda não é pequena, um layout celular torna-se mais adequado. Quando a variedade de produtos e

serviços é relativamente pequena, o fluxo de materiais, informações ou clientes pode ser regularizado e um layout físico por produto pode tornar-se mais adequado, como no caso de uma montadora de veículos.

Examinando os exemplos dos diferentes tipos básicos de layout, pode-se identificar o efeito de volume e variedade. À medida que o volume aumenta, a importância de tomar a decisão certa quanto ao fluxo aumenta. À medida que a variedade é reduzida, torna-se crescentemente possível arranjar os recursos transformadores de acordo com as necessidades de processamento do produto ou serviço. A variedade de diferentes configurações de um satélite de comunicação, ou as diferentes necessidades de clientes de uma biblioteca na realidade, eliminam a possibilidade de um fluxo regular e previsível. A variedade modelada de uma fábrica de televisores, por outro lado, representa barreiras leves ou inexistentes para a escolha de um layout, projetado com base nas necessidades de processamento do produto. Portanto, aumentando-se o volume, aumenta a importância de se gerenciar bem os fluxos e, reduzindo-se a variedade, aumenta a viabilidade de um layout baseado num fluxo evidente e regular. A posição do processo no contínuo volume-variedade influencia seu layout e, consequentemente, o fluxo dos recursos transformados.

3. ESTRATÉGIAS PARA A PRODUÇÃO

3.1. Introdução.

Thompson, Strickland e Gamble (2008) definem a estratégia como sendo um plano de ação definido pela administração da empresa para conduzir suas operações. A sua elaboração visa o crescimento da empresa, ao criar um conjunto específico de ações para melhorar o atendimento ao cliente com produtos e/ou serviços de qualidade.

Para Liker (2005), a consistência no desempenho de uma indústria depende diretamente da sua excelência operacional. Esta excelência pode ser baseada nos métodos de melhoria de qualidade e ferramentas específicas que aumentem a produtividade, com menos estoque de peças em processo e com um nivelamento de produção mais eficiente. O completo envolvimento e motivação das pessoas neste sistema pode garantir à empresa um maior sucesso.

As decisões relacionadas a processos são estratégicas por natureza, pois elas devem favorecer os objetivos da empresa, a longo prazo, dentro de uma empresa. O gerenciamento de processos é uma atividade continua e prioriza o controle de prioridades competitivas, como qualidade, flexibilidade, tempo e custo (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2008).

Segundo Slack (1993), alguns tipos de processo como refinamento de petroquímicos, processamento de alimentos ou aço necessitam de maiores incrementos de produção que processos que envolvem tecnologia de transformação de materiais, como uma fabricação de peças para automóveis, quando existe a necessidade de se aumentar a capacidade produtiva de uma instalação. Grandes máquinas apresentam uma maior economia de escala, pois quanto maior a máquina, menor o seu custo de capital por unidade de capacidade. O custo de tecnologia em si e os custos de instalação e suporte para o equipamento serão provavelmente menores por unidade produzida. Enquanto que instalações industriais com grandes máquinas, se beneficiam apresentado custos de produção inferiores, as instalações com máquinas menores apresentam uma maior flexibilidade e estoques intermediários menores. Há vantagens adicionais em utilizar máquinas menores, por exemplo; quando uma máquina grande que, produza o mesmo que duas máquinas pequenas, precisa parar para a manutenção, perde-se toda produção, enquanto que com duas máquinas pequenas, só 50% da produção

ficaria comprometida se as mesmas pararem isoladamente. Pequenas inovações tecnológicas e melhorias substancias em processos produtivos compostos por máquinas pequenas, pode adequar a capacidade ao uma eventual oscilação na demanda de produção.

Em uma fabricação de engrenagens, as grandes máquinas são representadas pelos fornos de tratamento térmico de superfície. São máquinas de alta capacidade de produção e baixa flexibilidade. Um forno de tratamento térmico contínuo possui uma velocidade contínua de produção, independente da velocidade de consumo das engrenagens pelas linhas de montagem que, neste caso, são os clientes finais. Fornos poços, que não são contínuos, também possuem uma quantidade máxima de peças para o processamento. Quando se atinge a capacidade máxima de produção de um forno de tratamento térmico contínuo ou em poço, surge a necessidade de aquisição de novos fornos que geralmente são caros e apresentam grandes onerosos gastos com instalação e manutenção. Na usinagem de engrenagem, composta por máquinas de menor porte, a necessidade de aumento da produção em decorrência de uma variação da demanda pode ser realizada por melhorias no processo produtivo, através da implantação de pequenas melhorias ou na compra de uma nova máquina, com um custo relativamente mais baixo.

Slack (1993) salienta que a tecnologia do processo de fabricação de um produto é determinada pela quantidade de itens para a fabricação e pelo volume total de produção de cada um, originando-se assim um perfil de cada produto. Na empresa de fabricação de engrenagens, onde o estudo foi elaborado, cada engrenagem possui um fluxo produtivo e uma quantidade de peças para atender à demanda distinta de cada cliente.

3.2. Complexidade na Formação de Estratégias de produção

Segundo Skinner (1969), é somente através da formação de estratégias de produção que os fabricantes podem atingir seus objetivos nos negócios, a estratégia de produção deve estar intimamente ligada à estratégia corporativa, criando assim os objetivos da produção. A estratégia de produção pode ser considerada como todas as ações e decisões a respeito do gerenciamento de operações de fabricação. A estratégia corporativa, por outro lado, envolve os aspectos relacionados ao gerenciamento de uma empresa, no longo prazo. Mintzberg e

Lampel, (1999), ampliaram a idéia sobre o que se diz a respeito do processo de estratégia ao incluir um amplo e diverso alcance de perspectivas.

Segundo Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004), para a estratégia de uma empresa, existem três elementos fundamentais: uma orientação dominante, um padrão de diversificação e uma perspectiva de crescimento. Estes são elementos que orientam a definição da estratégia em três níveis existentes: a estratégia da corporação, a estratégia de negócios, intimamente ligada com a obtenção e a manutenção da vantagem competitiva, e a estratégia funcional, relacionada com as diversas áreas de negócios da empresa. O sucesso da empresa depende exclusivamente da inter-relação bem sucedida entres estes três níveis.

Barnes (2002), pondera que uma estratégia realizada é derivada de uma combinação das intenções dos gerentes com o resultado do andamento das decisões e ações tomadas em toda a organização. Segundo Barnes (2002), a melhor forma de se pensar em estratégia é combinar todas as variadas decisões e ações dentro de uma organização que tenham um impacto no longo prazo. Consequentemente, o processo de estratégia pode ser visto como um processo interativo complexo, nos quais as políticas, valores, cultura organizacional e estilos de gerenciamento, determinam ou restringem as decisões estratégicas e as suas ações.

São inúmeros os conceitos de operações e literaturas de estratégia corporativa, que parecem ser essenciais para o avanço no entendimento sobre o processo de formação de estratégia de produção. Barnes (2002), descreve os elementos chaves para essa compreensão como:

-Estratégia de negócios: Preocupa-se com a visão de longo prazo e alia as estratégias financeiras, as de marketing, de produto, as inter-relações entre essas e as suas estratégias de produção.

- Estratégias de fabricação: São estratégias de curto prazo, relacionadas às decisões rotineiras dentro da empresa, onde o foco de preocupação seria de ordem estrutural (capacidade, instalação, produção, equipamento) e elementos infraestruturais (controle e planejamento de produção, qualidade, organização, recursos humanos, desenvolvimento de um novo produto e desempenho de sistemas de medida).

- Fatores externos: Fatores que ocorrem no ambiente no qual a empresa está inserida, podendo estes atuarem coletivamente ou individualmente, afetando as suas estratégias de

negócios, ou estratégias de produção, ou em ambos. Estes fatores podem ser a necessidade dos consumidores, as atividades dos concorrentes ou alterações de cenários em seu mercado de fornecimento.

- Fatores de propriedade: A influência das atitudes dos proprietários sobre a estratégia de negócios da empresa, as metas financeiras específicas de seus proprietários não coincidem com as metas financeiras da empresa.

- Contexto interno: Capacidade produtiva da empresa, fontes de fornecimento, aspectos políticos e de liderança.

-Contexto externo: São os fatores políticos, econômicos, sociológicos e tecnológicos mais importantes e amplos no ambiente de negócios.

3.3. O processo de formação de estratégia de produção.

Segundo Barnes (2002), uma empresa apresenta uma combinação única de fatores que constituem o seu ambiente interno. Fatores gerenciais, organizacionais, culturais e políticos, influenciam o processo de formação de estratégia de produção, através da interpretação dos gerentes envolvidos, individualmente ou coletivamente. As descobertas oriundas desse processo são os modelos descritivos de formação estratégica do processo produtivo.

De acordo com Barnes (2002), a formação de estratégia de produção pode ser realizada por duas vias. Uma via seria a da deliberação onde, de acordo com a interpretação da gerencia em relação aos aspectos externos, seriam desenvolvidos os objetivos da produção e, uma segunda via, chamada por Barnes de emergente, estariam outras decisões e ações da estratégia de fabricação, que na prática, são os problemas de origem interna que os gerentes precisam resolver. Todos os problemas acontecem dentro de um contexto interno, particular, da empresa.

Poter (1998) faz uma abordagem onde considera a estrutura do setor como ela é, e como nela se encaixam as forças e as fraquezas da empresa. A estratégia pode ser a construção de defesas contra forças competitivas ou a descoberta de posições no setor em que

as forças sejam mais fracas. Para isso, é fundamental o conhecimento da empresa e das causas das forças competitivas para o correto direcionamento às áreas onde a empresa deve competir e deve evitar a competição. A empresa pode escolher uma estratégia ofensiva com a intenção de alterar as causas da competição. Os investimentos em aumento de capacidade e produção em larga escala afetam a entrada no mercado de novos competidores. Como o equilíbrio de forças depende de fatores externos, ele está parcialmente sob o controle da empresa.

3.4. Forças competitivas moldando a estratégia.

Porter (1998), afirma que em um ambiente de “concorrência perfeita” dos economistas, a luta para a conquista de uma posição não está sujeita a controles de qualquer espécie e a entrada no setor é muito fácil. No longo prazo, este conceito pode ser danoso para a saúde financeira de qualquer empresa, mas quanto mais fracas forem as forças competitivas, maior a oportunidade de um desempenho superior.

O objetivo estratégico de qualquer empresa seria encontrar uma posição de segurança dentro de um mercado, onde possa se defender das forças competitivas ou influenciá-las a seu favor. O conhecimento das fontes básicas de pressão competitiva propicia o trabalho preliminar para ação da empresa. Com este conhecimento, é possível detectar os pontos fracos e os fortes da empresa, reconhecer onde as mudanças estratégicas oferecem maiores vantagens e acentuam os lugares onde as tendências do setor prometem ser da maior importância, seja como ameaça, seja como oportunidade.

Krajewski e Ritzman (1996) salientam que, o ambiente empresarial externo na qual uma empresa compete, muda continuamente. Assim, uma organização precisa se adaptar continuamente a esse ambiente. A adaptação começa com uma análise do mercado, o processo pela qual os gerentes monitoram as tendências dentro do ambiente sócio-econômico, incluindo a indústria, o mercado, e a sociedade, para oportunidades ou ameaças potenciais. Uma razão crucial para a análise do mercado é permanecer informado sobre os movimentos dos concorrentes. Os concorrentes podem aumentar seus lucros ampliando as linhas de produtos, melhorando a qualidade, ou abaixando custos. Novos participantes no mercado ou

concorrentes que ofereçam substitutos para os produtos ou o serviços, podem ameaçar a continuidade da rentabilidade. Outros interesses importantes incluem tendências econômicas, mudanças tecnológicas, circunstâncias políticas, mudanças sociais (tais como atitudes para o trabalho), a disponibilidade de recursos vitais e o poder coletivo dos clientes ou dos fornecedores. As mudanças ambientais podem fazer com que uma companhia reconsidere suas estratégias atuais.

Segundo Krajewski e Ritzman (1996), identificar oportunidades e ameaças exige hoje uma perspectiva global. Uma estratégia global pode incluir a compra de peças importadas ou serviços, combatendo ameaças dos concorrentes externos, ou planejar maneiras de incorporar mercados fora dos limites nacionais tradicionais. Embora seja necessário defender-se das ameaças dos concorrentes globais, as empresas devem igualmente procurar uma penetração nos mercados estrangeiros. Um caminho para que uma empresa abra mercados estrangeiros é criar uma aliança estratégica. Uma aliança estratégica é um acordo com uma outra empresa para que se possa formar um:

1. Esforço colaborativo,

2. Empreendimento misto,

3. Licenciamento de tecnologia.

Um esforço colaborativo surge frequentemente quando uma organização possui competências distintas que outras necessitem, mas são pouco capazes (ou incapazes) de duplicar a oferta de produtos ou serviços. Assim, duas organizações concordam em trabalhar junto ao benefício mútuo de ambos. Tais layouts são comuns em relacionamentos de comprador-fornecedor, tais como as peças fornecidas por um fabricante estrangeiro. Em um empreendimento misto, duas empresas concordam em produzir um produto ou um serviço em comum. Esta aproximação é usada frequentemente por empresas para a conquista de mercados estrangeiros. O licenciamento de tecnologia é uma aliança estratégica na qual a companhia licencia seus métodos da produção ou do serviço a uma outra empresa.

3.5. Flexibilidade de sistemas produtivos

Shore e Tompkins (1980) apud Kulturel-Konak (2007), definem flexibilidade como a habilidade de um layout em responder a atuais e futuros volumes de produção.

Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004), definem a flexibilidade através de uma abordagem operacional, como sendo a capacidade de um sistema produtivo adotar diversos estados diferentes. Dentro de um conceito estratégico, a flexibilidade seria a capacidade de uma planta produtiva atender a diferentes níveis de produção em função de uma variação da demanda. Esta variação de demanda nasce de fatores externos e internos no ambiente de negócio. Mercados dinâmicos e cada vez mais imprevisíveis, novas necessidades, avanços tecnológicos, e uma velocidade de entrega cada vez maior são alguns desses fatores externos. Como fatores internos, existem as quebras de máquinas, falta de matéria prima, falhas no fornecimento de peças e nos sistemas de programação e planejamento. A capacidade que um sistema tem de lidar com estes fatores por si só não definem o conceito de flexibilidade. Um sistema que se move, rapidamente, de um estado para outro e a um baixo custo, é certamente mais flexível que os demais.

Groover (2003), utiliza o termo flexibilidade para caracterizar um determinado sistema de produção, que permite algum nível de variação no estilo das peças ou produtos fabricados, sem interrupções na produção para mudanças entre os modelos. A flexibilidade é geralmente uma característica desejável de um sistema de fabricação. Sistemas que os possuem são, costumeiramente, chamados sistemas de fabricação flexíveis, ou sistemas de montagens flexíveis, ou nomes similares. Podem produzir estilos diferentes de peças ou podem prontamente adaptar-se a novos estilos de peças quando os precedentes se tornam obsoletos.

Em face aos modernos sistemas de produção, produtos não são fabricados ou montados em linhas dedicadas. Diversos tipos de produtos são produzidos em um mesmo layout, mas com fluxos diferenciados. Com máquinas flexíveis, cada produto pode ter diversos fluxos onde são dinamicamente produzidas de acordo com a carga de trabalho de cada máquina (LEUNG, 1992).

Groover (2003), conclui que para ser flexível, um sistema de fabricação deve possuir as seguintes capacidades:

- Identificação das diferentes unidades de trabalho. Operações diferentes são exigidas em diferentes estilos de peças ou de produtos. O sistema de fabricação deve identificar a peça para executar a operação correta. Em um sistema manualmente operado ou semi-automático, esta tarefa é geralmente fácil para os trabalhadores. No sistema automático, alguns meios para a identificação automática da unidade de trabalho deve ser projetada.

- Preparação rápida com instruções de operação. As instruções ou o programa da peça no caso das máquinas de produção controladas por computador, devem corresponder à correta operação da peça. No caso de sistemas manualmente operados, isto geralmente significa que os trabalhadores são capazes de lidar com uma grande diversidade de operações necessárias para processar ou montar estilos diferentes de unidades de trabalho, e sabem quais operações a executar em cada unidade de trabalho. Nos sistemas semiautomáticos e inteiramente automáticos, isto significa que os programas das peças exigidos estão prontamente disponíveis na unidade de controle.

- Preparação rápida da instalação física. A flexibilidade na produção significa que as diferentes peças não são produzidas em grupos. Para que diferentes estilos de peças sejam produzidas, sem a necessidade de perder tempo em preparações de um sistema para a produção de peças de diferentes estilos, o sistema de fabricação flexível deve ser capaz de fazer todas as mudanças necessárias em fixações e ferramentas em um espaço muito curto de tempo. (O tempo da preparação deveria corresponder aproximadamente com o tempo exigido para substituir a peça processada pela peça seguinte).

Estas características do sistema são frequentemente difíceis de projetar. Em sistemas de produção manual, falhas humanas podem causar problemas, operadores que não executam as operações corretas nos diferentes estilos de unidades de trabalho. Em sistemas automáticos, sensores devem ser projetados para permitir a identificação da unidade de trabalho. A programação da peça é realizada com relativa facilidade em virtude dos recursos de informáticas atuais. Mudar a instalação física é frequentemente o problema mais desafiador, e sua solução torna-se mais difícil com o aumento da variedade das peças ou dos produtos. Dotar um sistema de fabricação com flexibilidade, aumenta sua complexidade. Os dispositivos elétricos do sistema e/ou o transportador para a manipulação do material devem ser projetados para compreender uma grande variedade de formas de peças. O número exigido de diferentes ferramentas aumenta. A inspeção torna-se complicada mais por causa da

variedade das peças. A logística para o fornecimento do sistema com as quantidades correta de suplementos para a produção precisa ser mais envolvida. A organização e a coordenação do sistema torna-se mais difícil.

4 SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO

4.1 Introdução

Para Meyers e Stephens (2005), os recentes avanços na área computacional influenciaram a maioria das áreas de negócios e da indústria. O uso de computadores para planejar sistemas de produção não é uma idéia nova. Uma variedade de programas computacionais estiveram disponíveis por anos, alguns programas mais velhos e mais tradicionais levaram ao desenvolvimento de programas mais avançados e saíram de cena. O advento de computadores mais rápidos e mais poderosos e o desenvolvimento de programas mais acessíveis fizeram o uso desta tecnologia muito mais comum. Com isto, viabilizaram o uso da simulação, transformando-se em parte integrante no processo de planejamento e de tomada de decisão da produção e do segmento de serviços da indústria. Em consequência da dinâmica do mercado e da competição global feroz, as empresas de bens e de serviços são forçadas a disponibilizar um produto ou um serviço de melhor qualidade com um custo efetivo menor enquanto tentam reduzir significativamente o tempo gasto de fabricação. A procura por uma vantagem competitiva exige a melhoria contínua dos processos com a utilização de tecnologias novas. Infelizmente, os sistemas de fabricação mais cuidadosamente planejados, altamente automatizados e sofisticados não são sempre imunes às tolices caras de projeto ou das falhas não-antecipadas. Entre os exemplos mais comuns destes erros caros destaca-se o espaço insuficiente para o estoque em processo, más utilizações das capacidades das máquinas, fluxo de material ineficaz e gargalos inesperados, trajetos congestionados para veículos guiados automaticamente (AGVs), etc.

Meyers e Stephens (2005), salientam que diversas gerações de simulação e de modelagem por computador foram usadas para resolver problemas matemáticos complicados ou para fornecer a introspecção em distribuições estatísticas sofisticadas. O poder dos programas computacionais de simulação aumenta, dramaticamente, a aplicação do uso do computador como uma ferramenta de solução para problemas, criando oportunidades novas para melhorias de produtividade na área de planejamento e de produção. Os programas de simulação que estão atualmente disponíveis já não exigem um conhecimento profundo em linguagens de programação, de matemática, ou de computador a fim de executar simulações interativas do mundo real. Um número de pacotes avançados de simulação estão disponíveis

para permitir que o usuário simule o funcionamento de uma fábrica, o desempenho de várias máquinas, um ambiente just-in-time de estoque, o armazenamento e os problemas logísticos, ou o comportamento de um sistema de tecnologia de grupo. Estes programas de simulação demonstraram ser um valioso dispositivo nos processos de tomada de decisão. Igualmente, exigem um investimento relativamente pequeno de tempo de treinamento a fim de desenvolver um trabalho de conhecimento do processo de simulação.

De acordo com Magableh (2007), a simulação pode acomodar o sistema dinâmico inserido no mundo real. Um típico modelo de simulação é frequentemente capaz de representar as associações dos sistemas logísticos em estudo, oferecendo uma particular configuração dos fornecedores, da estocagem de peças, dos próximos clientes, e assim por diante, criando dentro de um contexto virtual, todas as condições encontradas no ambiente real. Um modelo de simulação pode ser usado para ajudar a estimar os custos associados com as operações dentro de uma empresa. Meyers e Stephens (2005) acrescentam que o uso da simulação por computador não é limitado apenas ao ambiente de produção, estendendo-se as outras áreas como saúde, políticas públicas, etc., que também sofrem pressão para a redução de custos e para a oferta de um serviço melhor.

A simulação é uma apropriada ferramenta para estudos complexos em sistemas dinâmicos. Ela pode ser usada para valorizar decisões, operações e ajudar nas decisões gerenciais. Assumindo que um modelo de simulação para um sistema dado é válido, o conceito lógico do modelo se assemelha com o sistema real em estudo (MAGABLEH, 2007).

Simular e analisar é mais barato e consome um tempo menor do que experimentar uma nova idéia no sistema real e estudar o resultado correspondente. Um modelo real de simulação apresenta resultados dentro de determinados níveis de confiança e diversas decisões a respeito das várias melhorias podem ser feitas com total segurança (MAGABLEH, 2007).

É difícil, senão impossível, um modelo matemático capturar todas as características pertinentes em um sistema dinâmico. Adicionalmente, outras medidas sobre a performance do sistema, como o nível de estoque, tempo de fabricação, variabilidade, transporte, nível de serviços e beneficio mutuais, são também interessantes durante a experimentação (MAGABLEH, 2007).

4.2 Um breve histórico sobre o uso da simulação

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2004), a simulação começou a ser usada em aplicações comerciais nos anos 60. Os modelos iniciais eram programados geralmente em FORTRAN e consistiam, frequentemente, em milhares de linhas de código. Não era apenas trabalhoso construir um modelo, mas um profundo desenvolvimento era exigido para que os modelos funcionassem corretamente. Os modelos levavam freqüentemente um ano ou mais para serem construídos e alguma decisão equivocada sobre algum compromisso monetário poderia ser tomada antes do término da modelagem. As simulações longas eram realizadas em computadores que possuíam uma unidade central onde o tempo de utilização era caríssimo. Os ciclos de desenvolvimento longos proibiam mudanças importantes, uma vez que o modelo estava construído. Somente nas ultimas décadas a simulação ganhou popularidade como uma ferramenta da tomada de decisão na fabricação e nas indústrias de serviços.

Segundo, Harrel, Ghosh e Bowden (2004), para muitas companhias, a simulação transformou-se em uma prática normalizada, quando uma facilidade nova está sendo planejada ou uma mudança do processo está sendo avaliada. O impulso na popularidade da simulação de computador pode ser atribuída a uma maior consciência e compreensão, aumento substancial na tecnologia da simulação, disponibilidade, capacidade e facilidade de utilização do software de simulação, mais memória no computador e velocidades de processamento, redução do tamanho dos computadores dos custos com software.

Planejadores e gerentes tendem a evitar qualquer tipo da solução que pareça demasiadamente complicada. Uma ferramenta para a solução de um problema não é de muito uso se for mais complicada do que o problema que se pretende resolver. Com as tabelas da introdução de dados simples e o relatório automático da saída e a representação gráfica, a simulação está se tornando muito mais fácil de se usar e a relutância para usá-la está desaparecendo.

O uso preliminar da simulação continua a estar na área da produção. Os sistemas de fabricação, que incluem sistemas de armazenamento e de distribuição, tendem a terem definidos claramente os relacionamentos e os procedimentos formalizados que são à base da modelagem da simulação. São estes sistemas que se beneficiam ao tirar proveito do uso desta ferramenta de análise, em função de que os investimentos de capital são tão elevados e

mudanças tão interruptoras do sistema de produção. As tendências recentes de padronizar e sistematizar os processos de outros setores, tais como o processamento de ordem, o faturamento, e o apoio ao cliente estão impulsionando a aplicação da simulação nestas áreas também. Observou-se que 80% de todos os processos de negócio são repetitivos e podem tirar proveito das mesmas técnicas da análise usadas para melhorar sistemas de fabricação (HARRINGTON, 1991 apud HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004).

A simulação pode ser usada para planejar um sistema de produção flexível. A finalidade de um sistema de produção flexível é produzir uma grande variedade de peças onde a programação da produção pode mudar completamente com grande frequência. Um sistema de produção flexível consiste em um programa complexo e uma rede integrada de sistemas de manipulação de material. O sistema atribui diferentes peças às diferentes máquinas e aloca recursos diferentes para obter a máxima eficiência. A compreensão do sistema pelos planejadores pode melhorar significativamente, observando-se através da simulação, que tipo de produtos são selecionados e como os recursos são alocados. Além disso, com a observação dos problemas, podem se levantar as ações corretivas a serem tomadas quando a programação ou a quantidade de peças são mudadas (MEYERS e STEPHENS 2005).

Harrel, Ghosh e Bowden (2004) destacam o uso, em uma escala menor, da simulação como forma de oferecer uma base de treinamento em que um estagiário da gerência recebe a oportunidade de praticar habilidades da tomada de decisão interagindo com o modelo durante a simulação. Como um instrumento de apoio de decisão, a simulação pode ser usada para ajudar a planejar e fazer melhorias em muitas áreas de fabricação e das indústrias de serviços. Aplicações típicas da simulação incluem o planejamento do fluxo do processo, planejamento de capacidade, redução do tempo de ciclo, planejamento da equipe de funcionários e dos recursos, priorização do trabalho, análise do gargalo, melhoria da qualidade, redução dos custos, redução dos estoques, análise da produção, melhoria da produtividade, análise da disposição, balanceamento de linha, otimização do tamanho de grupo, programa de produção, programa dos recursos, programa de manutenção e projeto do sistema de controle.

4.3 Definição de um modelo

Em seu livro, Modelagem Empresarial, Pidd (1998), chama a atenção para o fato de existir muitas definições para a palavra modelo, em geral, e também muitas definições de modelo como o termo usado dentro das ciências administrativas. Uma das primeiras definições, simplesmente, diz que um modelo é uma representação da realidade (ACKOFF e SASIENI, 1968 apud PIDD, 1998).

Para Fishwick (1995), modelar é abstrair da realidade uma descrição de um sistema dinâmico. Ao criar um modelo, são definidos claramente as partes que o compõe. Estas partes podem ser integrantes do sistema (isto é, estão dentro dele) ou podem afetar o sistema pela parte externa.

Segundo Pidd (1998), uma definição simplista pode esconder um fato relevante sobre o motivo pelo qual o modelo está sendo construído. Como o modelo sempre será uma simplificação de algum sistema, este modelo deve ter um uso pretendido. Sendo assim, esta definição sobre o que é um modelo deve ser ampliada para considerar o motivo pelo qual o modelo está sendo construído. Neste contexto, uma visão mais elaborada de modelo seria uma representação da realidade projetada para algum propósito definido.

Pidd (1998), destaca a necessidade dos cientistas administrativos em prover aos gerentes recursos necessários para uma administração eficiente. Os modelos, normalmente, são elaborados para habilitar um gerente a exercitar um melhor controle ou para ajudar as pessoas a entenderem uma situação complexa. Assim, uma terceira definição é que um modelo é uma representação da realidade que é planejada para ser usada por alguém responsável pelo gerenciamento ou entendimento da realidade. Quando se considera que tais modelos não são apenas necessários às pessoas que se encontram no topo da hierarquia de uma organização de negócios e sim para todas as pessoas do sistema, então pode-se definir um modelo como uma representação da realidade planejada para ser usada por alguém no entendimento, mudança, gerenciamento e controle desta realidade.

De acordo com Pidd (1998), é preciso aceitar que modelos múltiplos são possíveis para uma única realidade aparente e que nenhum modelo pode jamais estar completo. Isto por duas razões. Primeiro, se um modelo fosse um mapeamento completo de algo, então ele seria simplesmente tão complexo quanto a coisa real e não teríamos as duas coisas. A segunda razão é que, a menos que incluamos o universo inteiro no nosso modelo, sempre haverá o risco de faltar algo. Sendo assim, a definição de modelo seria uma representação de parte da

realidade, vista pelas pessoas que desejam usá-lo para entender, mudar, gerenciar e controlar aquela parte da realidade. Ao levar em consideração que muitas pessoas movimentam suas vidas com um conjunto de considerações que formam o seu próprio arranjo mental. Isto leva as pessoas a portar modelos mentais informais do mundo, que são modificados pela experiência. Assim, finalmente, a definição de um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade, que é a definição considerada neste trabalho.

4.4 Definição da simulação computacional

Segundo Garcia (2005, p 20), "a simulação é a obtenção da resposta temporal das variáveis de interesse (variáveis dependentes) de um modelo, quando se excita suas variáveis de entrada com sinais desejados e se definem os valores das condições iniciais das variáveis dependentes".

Para Prado (2006, p98), "a simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital".

Meyers e Stephens (2005) definem a simulação como uma técnica experimental, executada geralmente em um computador, para analisar o comportamento de todo um sistema no mundo real. A simulação envolve a modelagem de um processo ou de um sistema onde o modelo produz a mesma resposta do sistema real aos eventos que ocorrem nele durante um período dado de tempo. A simulação pode ser usada para prever o comportamento de um sistema complexo de fabricação ou de serviço, através dos movimentos e da interação dos componentes do sistema. O programa de simulação gera relatórios e estatísticas detalhadas que descrevem o comportamento do sistema sob estudo. Baseado nestes relatórios, as disposições físicas, a seleção do equipamento, os procedimentos de funcionamento, os recursos alocados e a sua utilização, o estoque e outras características do sistema importantes podem ser avaliados.

Krajewski e Ritzman (1996), definem a simulação como sendo o ato de reproduzir o ambiente de um sistema, utilizando um modelo que represente as operações deste sistema. Com um modelo desenvolvido, através de uma análise, pode se manipular certas variáveis para medir os efeitos destas mudanças nas características das operações de interesse. A simulação, através de um modelo, não apresentaria o que deveria ser feito a respeito de um problema. Ao invés disto, ele poderia ser usado para o estudo de soluções alternativas para o problema. As alternativas são, sistematicamente, usadas no modelo, e as alterações que produzem os efeitos mais significativos são armazenadas. Após o teste de todas as alternativas, a melhor é selecionada.

Meyers e Stephens (2005), apresentam duas características importantes a respeito da simulação por meio de um modelo; A simulação é dinâmica, o comportamento do modelo é acompanhado através do tempo simulado. O estado de um modelo estático não muda em função do tempo. Ao analisar um evento estático, as respostas de saída do modelo não seriam afetadas pelo tempo. Entretanto, ao simular a utilização ou a avaria de uma máquina, ou a acumulação de estoque em processo em uma estação de trabalho, estes fenômenos não seriam estáticos por natureza. A utilização do equipamento, a manipulação e transporte do material, e a interação entre as várias atividades em uma célula de fabricação, por exemplo, são dinâmicos por natureza e a saída de tais modelos é em função do tempo. Em segundo, a simulação é um modelo estocástico. Se, por exemplo, o tempo médio de falha para um equipamento é de 1.000 horas, não significa que o equipamento falhará, necessariamente, uma vez a cada 1.000 horas. Tal expectativa criaria um modelo determinístico. No mundo real, entretanto, a avaria segue uma distribuição estatística particular, isto é, exponencial, *Weibull*, e assim por diante. Um modelo de simulação permite estas avarias ou outras ocorrências aleatórias.

4.5 Outras vantagens na utilização de um modelo de simulação

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2004), ao usar um modelo de simulação computacional antes de construir ou testar os cenários de operações possíveis de uma planta produtiva, muitas imperfeições que, com frequência, podem ter sido encontradas antes do novo sistema ser implementado, são ou podem ser evitadas. Testes que poderiam levar meses e anos para

serem executados podem, em um modelo computacional, serem realizados em horas ou poucos dias. Um modelo computacional pode abranger um tempo de simulação que poderia levar semanas de operações em uns poucos minutos ou segundos. As características da simulação que a fazem uma poderosa ferramenta de decisão e planejamento da produção podem ser resumidas como;

- Versatilidade suficiente para a elaboração de qualquer modelo.
- Envolve todos os sistemas interdependentes.
- É menos custoso, com menor tempo gasto, e menos problemático do que experimentar no sistema real.
- Oferece informações dentro de múltiplas medições de performances.
- Visual gráfico com grande apelo, proporcionando interesse nas pessoas.
- Oferece resultados que são fáceis de entender e comunicar.
- Tempo de execução é resumido e comprimido.
- Requer atenção no detalhe das operações.

A relativa aceitabilidade da análise por meio da simulação se deve, em parte, a sua característica flexível e direta. A simulação pode ser usada para analisar os grandes e complexos modelos que não podem facilmente serem estudados por modelos matemáticos. Além disso, a simulação permite o estudo dos efeitos interativos de muitos componentes em um ambiente dinâmico e estocástico, com a vantagem distinta de fornecer ao pesquisador um efeito visual desobstruído. Por exemplo, os efeitos de se adicionar mais um operador em uma célula de manufatura, ou a vantagem (ou a desvantagem) de uma peça adicional para a usinagem em um centro de usinagem e seu efeito total na saída de planta, podem ser estudados visualmente e em tempo real. Além de suas vantagens técnicas, os conceitos básicos da simulação são compreendidos facilmente. Assim, um modelo de simulação é frequentemente mais fácil de justificar à gerência e aos clientes do que os modelos analíticos (MEYERS E STEPHENS 2005).

Através da simulação de um modelo por computador, é possível visualizar a produtividade de um layout e a qualidade da solução final gerada, comparando

numericamente uma grande quantidade de alternativas de layouts em um espaço curto de tempo (RAWABDEH E TAHBOUD 2006).

Em função das variação e interdependência dos sistemas produtivos, a simulação proporciona a obtenção de resultados dentro de sistemas dinâmicos e complexos que não podem ser obtidos usando outras técnicas de análises. A simulação proporciona uma liberdade ilimitada aos planejadores dos sistemas para testar idéias diferentes em busca de uma oportunidade de melhoria, sem riscos, com nenhum custo, nenhuma perda de tempo e nenhum rompimento do sistema atual. Além disso, os resultados são visuais e quantitativos com a análise das estatísticas de desempenho relatadas em medidas de alto interesse (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004).

4.6 Utilizando um modelo de simulação para avaliação da produção

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2004), a simulação é executada quase sempre como parte de um processo maior do projeto do sistema ou para melhoria de processo. As soluções e alternativas são geradas e avaliadas, e a melhor solução é selecionada e executada. A simulação é fundamental na fase de avaliação dos resultados. Primeiramente, um modelo é desenvolvido para uma solução alternativa. Enquanto o modelo é usado, em um período de interesse, as estatísticas do desempenho (utilização das máquinas, tempo de processamento, e assim por diante) são relatadas no fim da simulação. Os resultados são calculados e comparados entre si para fornecer estimativas estatísticas de desempenho de cada um, assim, é possível determinar qual a melhor solução. A simulação é essencialmente uma ferramenta da experimentação, quando o modelo atua como um substituto para o sistema mundo real. O conhecimento adquirido com a experimentação do modelo pode ser transferido ao sistema real (veja figura 4.1).
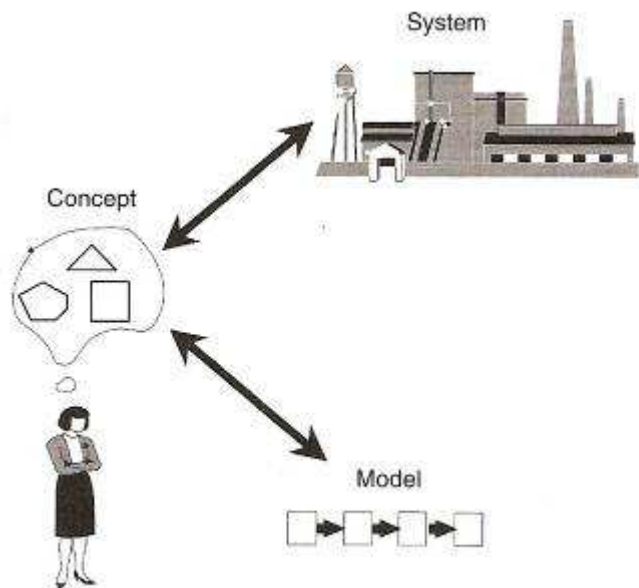
Fig.4.1 – A simulação fornece um método virtual para fazer um sistema experimental.

Fonte: "Adaptado de" Harrel, Ghosh e Bowden, 2004, p.9

Os planejadores podem usar a simulação para estudar vários aspectos do projeto, o planejamento de capacidade, o controle dos estoques, a qualidade e os sistemas da confiabilidade, armazenamento e planejamento de logística, e o programa de manutenção, para apresentar apenas algumas das possibilidades. Usando a simulação, o planejador pode comparar alternativas diferentes e estudar várias situações para determinar, por exemplo, se em uma situação dada um transporte seria mais eficaz do que um robô (MEYERS E STEPHENS 2005).

Atualmente, um grande número de simuladores está disponível aos planejadores a custos razoáveis. Estes programas oferecem um grande potencial de ajuda para o processo de planejamento em um sistema de produção complexo, ou somente em um departamento pequeno (MEYERS E STEPHENS 2005).

Harrel, Ghosh e Bowden (2004), descrevem que o procedimento para fazer uma simulação segue o método científico de:

- Formular uma hipótese,

- Preparar uma experiência,

- Testar uma hipótese com a experimentação,

- Extrair conclusões sobre a validade da hipótese.

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2004), na simulação, são formuladas hipóteses sobre quais são as regras de funcionamento do projeto. Na preparação de um experimento, através de um modelo da simulação, são testadas tais hipóteses. Com o modelo, são produzidas réplicas múltiplas da experiência ou da simulação. Finalmente, são analisados os resultados da simulação e posteriormente são desenhadas as conclusões em cima das hipóteses estudadas. Este processo é repetido até que se alcance o resultado desejado.

4.7. A escolha correta da simulação como ferramenta para a solução de um problema

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2004), nem todos os problemas de sistema que poderiam ser resolvidos com a simulação devem ser resolvidos usando a simulação e enfatiza a importância de se selecionar a ferramenta adequada para a tarefa. A simulação não é uma panacéia para todos os problemas. Eles indicam a simulação como apropriada se os seguintes critérios forem satisfeitos;

- Uma decisão (lógica ou quantitativa) operacional está sendo feita.
- O processo que está sendo analisado é bem definido e repetitivo.
- As atividades e os eventos são interdependentes e variáveis.
- O impacto do custo da decisão é maior do que o custo de fazer a simulação.
- O custo da experiência no sistema real é maior do que o custo da simulação.

As decisões devem ser de natureza operacional. A simulação não é muito útil para resolver problemas qualitativos tais como aqueles que envolvem assuntos técnicos, como por exemplo, problemas de qualidade no sistema produtivo, ou nos insumos de produção, ou de projeto de produto, etc., ou sociológicos quando problemas de ordem humana afetam o desempenho da produção (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004).

Os processos devem ser bem definidos e repetitivos e seguir uma sequência lógica obedecendo a regras definidas, mas isto não significa que não pode haver nenhuma incerteza

no sistema. Se um comportamento aleatório pode ser descrito usando expressões e distribuições da probabilidade, podem ser simulados (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004). O uso da simulação pode facilitar a compreensão para distribuições de probabilidade não-normais tais como a exponencial, a Poisson, ou a binomial. Ao contrário da opinião ou dos desejos populares, nem todos os fenômenos em uma manufatura, geralmente, tem uma distribuição de probabilidade normal. Em função disto, a maioria dos programas de simulação são capazes de analisar os dados preliminares para determinar a distribuição de probabilidade mais apropriada para uma situação dada, uma situação mais exata pode ser desenvolvida para tais processos estocásticos. As relações de utilização de máquina, as exigências de espaço, o controle de estoque, os sistemas de manipulação de material, e as capacidades das células de manufatura podem ser avaliados na realidade virtual antes da execução (MEYERS E STEPHENS 2005).

Somente quando não for possível fazer suposições razoáveis de como um sistema opera (porque nenhuma informação está disponível ou o comportamento é totalmente errático) essa simulação (ou alguma outra ferramenta de análise para essa matéria) se torna inútil. As atividades e os eventos devem ser interdependentes e variáveis. Um sistema que possui muitas atividades, mas que elas nunca interferem umas nas outras, pode ser caracterizado como determinístico e então o uso da simulação pode ser desnecessária (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004).

A principal desvantagem da simulação é que o desenvolvimento de alguns modelos muito complexos pode ser completamente caro e demorado. Certamente, um modelo de planejamento corporativo, ou uma grande usina com todos seus componentes, atividades, e serviços, podem realmente levar anos para uma conclusão final. Um analista pode, consequentemente, estabelecer uma estimativa rápida e imperfeita, que possa não refletir todos os fatos essenciais. Uma outra desvantagem é que as simulações não geram soluções ótimas aos problemas e geram resultados baseados somente no modelo apresentado para a análise. É então de responsabilidade do planejador estudar, através da simulação várias formas de solução a fim de encontrar a melhor alternativa (MEYERS E STEPHENS 2005).

Algumas vezes o impacto de uma tomada de decisão é insignificante e não se faz necessária à utilização da simulação para realizar tal experimento, a simulação demanda tempo e dinheiro e não garante o retorno do capital investido (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2004).

4.8. Como usar a simulação

Segundo Meyers e Stephens (2005), a finalidade da simulação é ajudar o responsável a tomar as decisões corretas para a solução de um problema particular. O processo pode ser modificado e resumido, de acordo com a necessidade do planejador. A simulação do modelo pode ser usada para uma aproximação de um problema de planejamento e para trabalhar para uma solução lógica. Meyers e Stephens (2005), sugerem um esboço básico para a construção de um modelo de simulação:

- Definição clara do problema e dos objetivos do estudo para a compreensão da real finalidade do trabalho.

- Definição das limitações do sistema como a disponibilidade de recursos. Espaços fisicos, orçamento disponível, entre outros.

- Desenvolvimento de um modelo gráfico para a compreensão dos componentes do sistema, variáveis, e suas interações.

- Elaboração de um projeto preliminar com os fatores considerados críticos no desempenho do sistema e escolha dos níveis em que estes fatores devem ser investigados. Os estudos da simulação podem gerar um vasto campo de resultados e o planejador pode interpretar dados críticos com trivialidade.

- Preparação dos dados de entrada coletando os dados exigidos pelo modelo. O resultado analisado na saída do sistema é tão importante quanto os dados de entrada.

- Formulação do modelo na linguagem de simulação apropriada.

- Verificação e validação do modelo, garantindo que este representa, certamente, o sistema que se pretende representar.

- Experimentação e investigação do sistema, através da manipulação. Compreender como as várias mudanças podem afetar a saída do processo. Adicionar ou suprimir recursos, ou usar um tipo diferente de recurso, afetará o resultado do processo. Estas modificações e seu impacto, a longo prazo, podem ser estudados.

- Análise e interpretação dos resultados.

4.9. A economia sugerida na utilização da simulação como ferramenta de apoio à produção.

Harrel, Ghosh e Bowden (2004) avaliam que o custo é sempre um ponto importante, quando é utilizado qualquer ferramenta de *software*, e a simulação não é nenhuma exceção. A simulação não deve ser usada se o custo excede os benefícios previstos. Isto significa que os custos e os benefícios devem ser cuidadosamente avaliados. O uso da simulação é frequentemente descartada em função da falha em reconhecer os benefícios e as economias potenciais que pode produzir. Muita da relutância em usar a simulação provém da noção equivocada que a simulação é cara e muito demorada. Os custos podem ser recuperados após os primeiros projetos. Na criação de um modelo, a fase que mais demanda tempo é aquela onde ocorre a transposição para o mundo virtual das características reais do sistema. Com as ferramentas de simulação avançadas que estão agora disponíveis, o desenvolvimento do modelo tomam somente uma fração pequena (frequentemente menos de 5%) do tempo do projeto de sistema total. As economias da simulação são realizadas identificando e eliminando os problemas e as incapacidades que iriam passar despercebidas até a execução de sistema. O custo é reduzido igualmente removendo os fatores de segurança excessivos que são adicionados quando as projeções do desempenho são incertas. Identificando e eliminando investimentos de capital desnecessários, e descobrindo e corrigindo incapacidades do funcionamento, não é raro para companhias relatar centenas de milhares de dólares nas economias em um único projeto com o uso da simulação.

Harrel, Ghosh e Bowden (2004) preveem que uma das dificuldades em desenvolver uma justificativa econômica para a simulação é o fato de que geralmente não se sabe, antecipadamente, quanta economia será realizada, até que o sistema esteja sendo realmente usado, mas muitas decisões incorretas podem ser tomadas na elaboração de um projeto. Amarrar os benefícios da simulação aos objetivos gerencias da organização fornece a justificação de seu uso.

Uma empresa pode realizar uma pesquisa através da simulação para mensurar uma melhoria, ou modificação do sistema. Isto pode requerer um investimento e talvez a melhor saída para uma justificativa embasada em números seja a utilização da simulação da produção.

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2004), o conceito de reduzir custos ao identificá-lo na fase inicial de projeto, um pouco depois que um sistema foi executado, é ilustrado pela Fig.4.2. Esta figura indica que o custo para corrigir um problema aumenta por um fator de 10 para cada estágio do projeto que passa sem ser detectada.
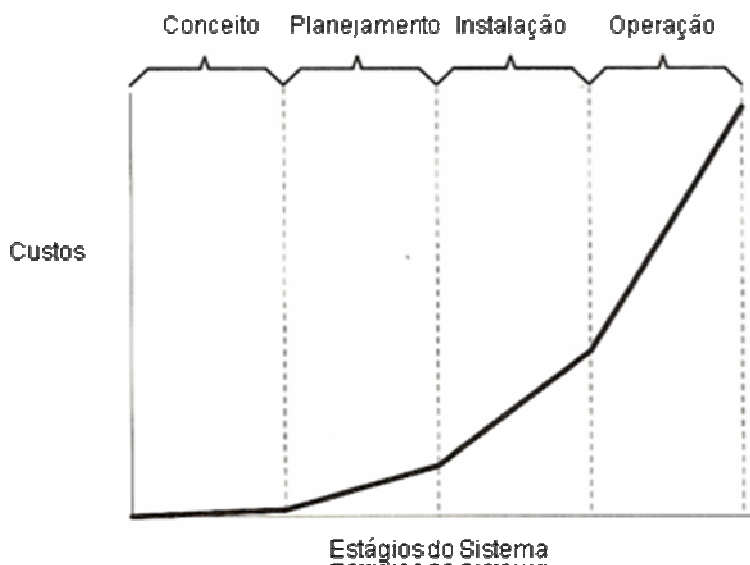
Fig.4.2 – Custos em realizar mudanças em diferentes estágios de desenvolvimento do sistema.

Fonte: “Adaptado de” Harrel, Ghosh e Bowden, 2004, p.17

A Fig.4.3. ilustra custo acumulativo que resulta de sistemas projetados usando a simulação, comparando-os com o custo do projeto e os sistemas de exploração sem o uso da simulação. No curto prazo, os custos com simulação podem estar sensivelmente maiores devido aos custos com testes e com o *software* de simulação. A longo prazo, custos associados com o capital investido e sistemas operacionais são, consideravelmente, mais baixos devido a melhores benefícios obtidos através da simulação.
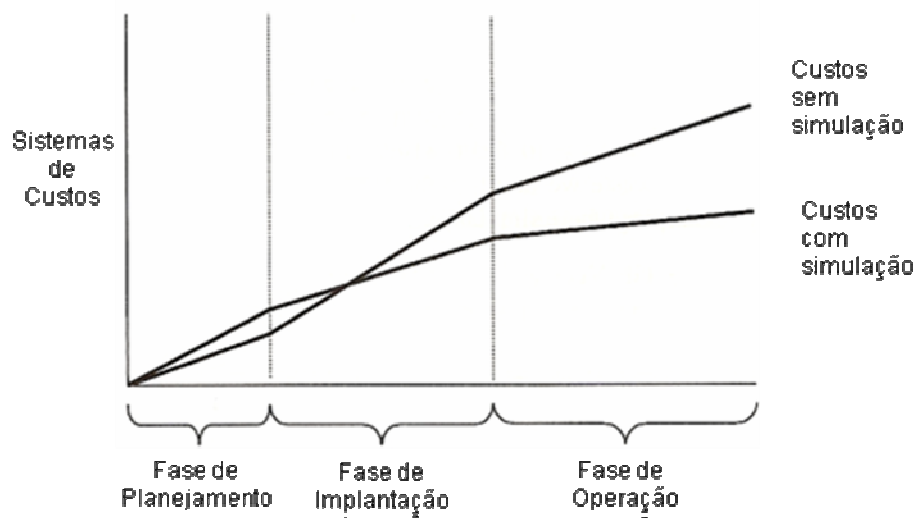
Fig.4.3 – Comparativo dos custos acumulativos do sistema com e sem simulação.

Fonte: "Adaptado de" Harrel, Ghosh e Bowden, 2004, p.17

Azevedo e Souza (1998) apud Yaman (2001) afirmam que o objetivo central da simulação é prover soluções para a manufatura e serviços, com o intuito de melhorar o sistema através dos seguintes caminhos:

- Reduzir o tempo de produção (lead-Time).
- Melhorar a precisão da entrega do produto.
- Melhorar a utilização de recursos.
- Reduzir estoques.
- Rápidas respostas para os clientes.
- Redução de custos no processo logístico.
- Alto nível de flexibilidade para mudanças.

4.10. Elementos de um sistema para simulação.

De acordo com Harrel, Ghosh e Bowden (2004), em uma simulação, um sistema consiste em entidades, atividades, recursos e controles (Figura 4.4). Estes elementos definem quem, o que, onde, quando, e como a entidade é processada.

Fig.4.4 – Elementos de um sistema.

Fonte: “Adaptado de” Harrel, Ghosh e Bowden, 2004, p.25

4.10.1. Entidades

Harrel, Ghosh e Bowden (2004), definem as entidades como sendo os itens processados através do sistema tal como produtos, clientes e documentos. Entidades diferentes podem ter características únicas tais como custo, a forma, a prioridade, a qualidade, ou a condição. As entidades podem ser subdivididas nos seguintes tipos:

- Humano (clientes, pacientes, etc.).
- Objetos (peças, documentos, escaninhos, etc.).
- Intangíveis (chamadas, correio eletrônicos, etc.).

Para a maioria dos sistemas de fabricação e de serviços, as entidades são itens discretos. Na manufatura, os eventos associados são discretos, pois nela são os sistemas de serviço como processos, documentos e outros que estão sob análise. Para alguns sistemas de produção, chamados sistemas contínuos, uma substância não discreta é processada, ao invés das entidades discretas. Alguns exemplos de sistemas contínuos são as refinarias e fábricas de papel.

4.10.2. Atividades

Harrel, Ghosh e Bowden (2004), definem as atividades como sendo as tarefas executadas no sistema que estão diretamente ou indiretamente envolvidas no processamento das entidades. Exemplos das atividades incluem serviços oferecidos a um cliente, o corte de uma peça em uma máquina, ou a reparação de uma parte de um equipamento. As atividades, geralmente, consomem tempo e envolvem frequentemente o uso de recursos. As atividades podem ser classificadas como:

- Processamento da entidade (registro, tratamento, inspeção, fabricação, etc.).
- Movimento da entidade por um recurso (rota da entidade, um transportador aéreo, etc.).
- Manutenção, ajustes e reparos do recurso (instalações da máquina, reparo da máquina da cópia, etc.).

Quando a quantidade de atividades aumenta, o estudo do layout torna-se uma tarefa mais desafiadora e a busca por uma alternativa ótima mais difícil (CHIEN, 2004).

4.10.3. Recursos

Harrel, Ghosh e Bowden (2004), definem os recursos como sendo os meios pelas quais as atividades são executadas. Fornecem as facilidades, o equipamento e as pessoas de apoio que realizam as atividades. Enquanto os recursos facilitam o processamento das entidades, recursos inadequados podem restringir o processo limitando o alcance máximo que o sistema pode atingir. Os recursos têm características tais como a capacidade, a velocidade, o tempo de ciclo, e o reptibilidade. Como as entidades, os recursos podem ser categorizados como:

- Humano (operadores, doutores, pessoal da manutenção, etc.).
- Objetos (equipamento, trabalho feito com ferramentas, etc.).
- Intangíveis (informação, impulsos elétricos, etc.).

Os recursos devem ser utilizados para atingir o máximo de produtividade na produção. As atividades de produção são programadas para o uso eficiente dos recursos, em função dos altos custos envolvidos na utilização destes, na planta (RAJAKUMAR; ARUNACHALAM; SELLADURAI, 2005).

5. EMPRESA AVALIADA

5.1. Introdução

A empresa onde o trabalho foi desenvolvido atua no setor automobilístico e está presente em vários países da Europa, America do Norte, America Latina, África, Ásia e Oceania, empregando 273.216 funcionários no mundo (dados de 2008). Esta empresa com sede em Stuttgart, Alemanha, faturou no ano de 2008 o valor de 95,9 b€.

O Brasil possui três unidades desta empresa. Campinas, Juiz de Fora e São Bernardo do Campo são as cidades onde estas unidades estão instaladas, empregando um total de 14.073 funcionários (dados de 2008). A unidade situada em São Bernardo do Campo, emprega 11.986 funcionários (dados de 2008), e possui um amplo parque fabril onde é possível encontrar atividades manufatureiras como montagens e usinagens de produtos, atividades relacionadas com o desenvolvimento de novos produtos e áreas de suporte técnico para toda a empresa que oferecem serviços de informática e de manutenção da sua infra-estrutura.

Nesta planta em São Bernardo do Campo, o sistema para a produção de engrenagens para motores possui um grande investimento tecnológico em máquinas de usinagem, equipamentos de medição e ferramentas de desgaste. O aparato físico industrial para a fabricação de engrenagens, aliado ao conhecimento técnico, através de uma mão de obra especializada e bem treinada, é essencial para satisfazer as necessidades de qualidade e pontualidade na entrega de produtos ao seu cliente final.

Atendendo a todos os requisitos necessários de qualidade para a fabricação de engrenagens, a oportunidade em aumentar a quantidade produzida e incrementar a oferta de peças aos mercados interno, dentro do Brasil, e externo, países onde haja demanda por estes produtos em geral, é real. Com um aumento exponencial no volume de vendas de engrenagens, podem surgir novas necessidades de atendimento.

A seguir será descrito o processo de fabricação destas engrenagens, que é o ponto de partida para o desenvolvimento do modelo de simulação que será utilizado neste trabalho.

5.2. Componentes do sistema produtivo

O sistema de produção de engrenagens é composto por produtos, recursos humanos, maquinas e meios de transporte. A seguir será apresentado estes pontos para uma melhor compreensão do processo de produção.

5.2.1. Produtos

São fabricados neste sistema de produção 09 diferentes tipos de engrenagens. As engrenagens apresentam diferenças geométricas entre si, de acabamento, etc., e são todas utilizadas para a montagem em motores a diesel. Cada engrenagem recebe um número de identificação exclusivo, que facilita o seu rastreamento, controle de produção e reposição no mercado. Neste trabalho será adotado as letras do alfabeto para a identificação das peças. As letras utilizadas são A, B, C, D, E, F, G, H e I.

As engrenagens fabricadas neste sistema de produção são apresentadas através da fig.5.1.
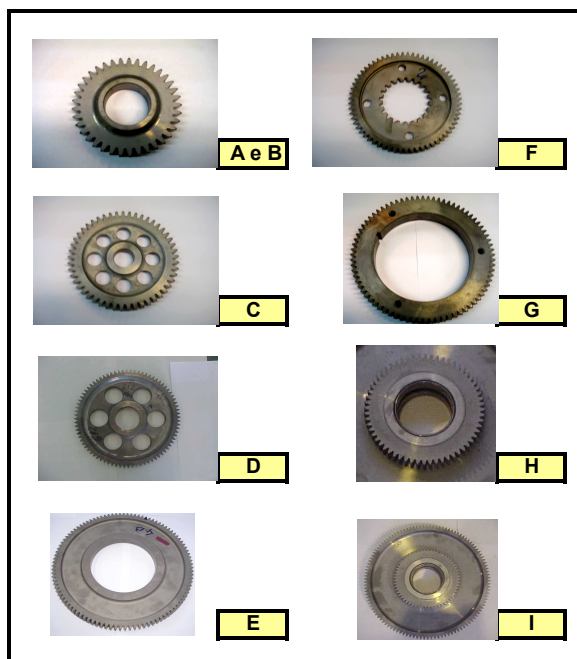
Fig. 5.1 - Engrenagens fabricadas no processo produtivo.

Fonte: Autor

5.2.2. Recursos humanos

Segundo Groover (2003), muitos sistemas de fabricação, trabalhadores humanos executam algum ou todo trabalho que agrega valor aos produtos. Nestes casos, os trabalhadores humanos são referidos como o trabalho direto. Através de seu trabalho físico, adicionam diretamente valor à unidade de trabalho, executando o trabalho manual nele ou controlando as máquinas que executam o trabalho. Nos sistemas de fabricação que são automatizados inteiramente, o trabalho direto é ainda necessário nas atividades como o carregamento e descarregamento das peças do sistema, das ferramentas em utilização, para gerenciar ou controlar os programas de computador, manutenção e pessoal de reparo, e tarefas indiretas similares. Em sistemas automatizados, a distinção entre trabalho direto e indireto não é sempre preciso.

5.2.3. Máquinas

Groover (2003) classifica as máquinas como manuais, semiautomáticas e automáticas. As máquinas automáticas são totalmente operadas ou supervisionadas por um operador. A máquina oferece ao operador o controle total de todas as suas funções. Máquinas convencionais como tornos, fresadoras, etc. são classificadas como manuais. As máquinas semiautomáticas tem o seu ciclo de trabalho controlado, a maior parte do tempo, por um programa computacional e um operador para reiniciar o programa assim que o ciclo de usinagem automático termina. Estas máquinas requerem um operador que retire a peça usinada e a substitua por uma outra peça a ser usinada, reiniciando o ciclo automático.Um exemplo desta categoria de máquina é o torno CNC – (controle numericamente computadorizado). Já o que distingue uma máquina automática de uma semiautomática é a possibilidade de operação por períodos extensos de tempo, sem a ação humana. A máquina não necessita de um operador, constantemente, para reiniciar cada ciclo de trabalho. Um exemplo disto são as máquinas injetoras, que obedecem a um ciclo automático de operação e a uma alimentação que dispensa a intervenção de um operador.

Segundo Groover (2003), nos sistemas de produção automáticos atuais, um sistema computadorizado para controlar o sistema produtivo automático ou semiautomático e participar da coordenação e gerenciamento de toda a cadeia produtiva se faz necessário. As funções de um sistema computacional incluem:

- Comunicar instruções aos operadores. Em estações manualmente operadas, que produzem diferentes unidades de trabalho, com diferentes características de montagem e/ou processo, todas as instruções devem ser comunicadas aos operadores.

- Programas de produção. Baixar novos programas de peças em máquinas com comando numérico computadorizado.

- Controle de sistemas de manuseios de materiais. Esta função é caracterizada pelo controle do material manuseado e coordenação das atividades envolvidas nas estações de trabalho.

- Programa de produção. Certas funções de programas de produção são inseridas no sistema produtivo.

- Diagnóstico de falhas. Isto consiste em diagnosticar equipamentos com problemas de funcionamento, preparando preventivamente um programa de manutenção.

- Monitoramento da segurança. Esta função assegura que o sistema não opere em condições inseguras. O objetivo deste monitoramento é garantir a segurança do operador e do equipamento.

- Controle de qualidade. A proposta desta função de controlar a qualidade é detectar e possibilitar a rejeição da unidade de trabalho produzida pelo sistema.

- Operações de gerenciamento. Gerenciar todas as operações do sistema de produção, diretamente, por um computador supervisor ou indiretamente, preparando todas as informações necessárias para uma tomada de decisão pessoal.

As máquinas semiautomáticas utilizadas no sistema de produção, onde o estudo foi realizado, são tornos, fresadoras de dentado, rebarbadoras, furadeiras e rascadoras. As máquinas manuais são a brochadeira e a balanceadora. Serão descritas a seguir as principais funções de cada máquina em uma usinagem de engrenagens.

5.2.3.1 Tornos

São máquinas utilizadas para a usinagem de peças cilíndricas. Os tornos utilizados na produção de engrenagens são de comando numérico computadorizado e usinam as peças em duas etapas: o primeiro e o segundo lado. Os tornos são utilizados apenas para preparar a engrenagem para as operações posteriores removendo o metal das superfícies. As imperfeições das peças são corrigidas e as medidas de diâmetro externo e de diâmetro interno são controladas.

Na operação de usinagem, o operador coloca a peça em um equipamento denominado placa de fixação. Com o acionamento de um pedal a placa, que funciona hidraulicamente, prende a peça para a usinagem. O operador aciona o ciclo automático da maquina, que obedecendo a um programa computacional, executa todas as operações sem a necessidade da interferência humana. Com término da operação, o operador solta a peça da placa e inicia a operação de usinagem do lado oposto da peça. Na segunda etapa do processo, o operador repete a operação de posicionamento da peça na placa e aciona novamente o ciclo automático da máquina para a usinagem.

Apenas dois tornos são auxiliados por robôs que executam as operações de fixar a peça na placa e iniciar o ciclo automático. Neste caso o operador.apenas coloca a peça em uma esteira transportadora que movimenta a peça até o robô.

Neste sistema de produção, existem dez tornos, sendo oito horizontais (Figura 5.2) e dois verticais com alimentação automática (Figura 5.3).

Fig.5.2 - Foto de dois tornos horizontais.

Fonte: Autor

Fig.5.3 - Foto de dois tornos verticais.

Fonte: Autor

5.2.3.2 Fresadora de dentado

São máquinas que usinam os dentes da engrenagem. Isto é possível em função de um sincronismo entre a ferramenta de usinagem da máquina e o giro da peça que está fixada em uma bucha expansiva.

O operador coloca as peças no transportador de engrenagens da fresadora para a usinagem do dentado e retira as peças usinadas que estão no mesmo transportador. A máquina retira simultaneamente a peça do transportador para usinar o dentado e coloca no seu lugar

uma peça já usinada. A alimentação da peça na bucha expansiva é automática, realizada pela máquina.

Ao operador cabe a tarefa de abastecer o transportador da máquina, verificar as suas dimensões e disponibilizar as peças prontas no carrinho para transporte. São três as fresadoras utilizadas na seção.

5.2.3.3. Rebarbadora

A operação de remoção do metal sobressalente, oriundo da operação de fresar dentado, é realizada na rebarbadora de dentado.

Assim como na fresadora, o ciclo de usinagem desta máquina, incluindo a operação de alimentação, é automático. O operador se encarrega apenas de colocar as peças no transportador, e retirar as peças prontas disponibilizando-as em um carrinho para o transporte. Uma checagem visual na peça é realizada pelo operador. A operação de rebarbar o dentado é realizada logo após a operação de fresar dentado. São três as rebarbadoras da seção.

5.2.3.4 Furadeira

No setor, existem dois tipos de furadeira. Uma furadeira de coluna utilizada apenas para a operação de escarear furos e outra furadeira com comando numérico computadorizado, para furar peças.

O operador coloca duas peças em um dispositivo de fixação. Após o acionamento do comando que aciona hidraulicamente este dispositivo de fixação o ciclo automático de operação, que obedece a um programa de computação, inicia o processo de usinagem. Após o termino da operação de furar o operador retira as peças acabadas, e coloca mais duas peças na máquina reiniciando o ciclo. Com as duas peças acabadas o operador utiliza uma furadeira convencional de coluna para escarear os furos. Posteriormente ele controla as dimensões destes furos e disponbiliza as peças no carrinho para transporte.

5.2.3.5 Brochadeira

Nesta máquina é realizada a usinagem do dentado interno da engrenagem. Nesta operação, uma ferramenta cilíndrica, denominada agulha passa, pelo diâmetro interno da engrenagem gerando o dentado interno da peça. A passagem da agulha na peça é realizada apenas uma única vez.

A operação é totalmente manual, pois enquanto a agulha conforma o dentado interno da engrenagem, o operador ocupa as duas mãos acionando dois botões da máquina. Apenas as engrenagens F e G são brochadas. Existe apenas uma brochadeira no setor.

5.2.3.6 Rascadora

Na rascadora de dentado é usinado apenas a superfície do dente da engrenagem. O acabamento da superfície da engrenagem é realizado quando a ferramenta de usinagem entra em atrito com a engrenagem e remove o material de sua superfície.

É usinada uma peça por vez, em uma operação automática, onde o operador alimenta a máquina manualmente. A operação de rascar o dentado é realizado após a operação de rebarbar o dentado e com o acabamento da superfície do dente da engrenagem, que esta operação proporciona, é possível uma redução significativa do nível de ruído da peça.

Outro nome usado no trabalho para este tipo de equipamento é “sheivadora”.

5.2.3.7 Balanceadora

Engrenagens utilizadas em aplicações que necessitem de uma melhor distribuição de massa para a redução da vibração e ruído precisam de um balanceamento. Esta operação é realizada em equipamento que mede o excesso de massa em determinadas regiões da peça.

O equipamento utilizado para balancear as engrenagens faz uma leitura automática desta distribuição de massa na peça, corrigindo-a com determinadas remoções de material através de furações. Após a remoção do excesso de material o equipamento reinicia o ciclo até não encontrar mias distorções na distribuição de massa. A peça é liberada, e o operador a remove colocando outra peça para o balanceamento. Apenas as engrenagens B e C necessitam desta operação. Há apenas uma balanceadora na seção.

5.2.3.8 Meios de transporte

Segundo Groover (2003), dentro de um contexto de sistemas de manufatura, o transporte de peças pode ser realizado manualmente, ou com o auxílio de um equipamento apropriado para o transporte do material. O transporte manual de peças é limitado aos casos em que o material é leve e pequeno, sendo assim ergonomicamente aceitável. Quando o material a ser movimentado excede em peso ou tamanho o limite possível para o transporte manual, é necessária a utilização de equipamentos para esta função.

Para o transporte das peças no setor entre as máquinas são utilizados carrinhos adequados para esta função, que não possibilitam o contato entre os dentes das engrenagens. Durante o transporte, a colisão entre as engrenagens podem ocasionar marcações na superfície do dentado, inutilizando-as. Os meios de transporte utilizados possuem ganchos onde as peças são colocadas distantes umas das outras, impedindo o contato entre si. A movimentação destes meios pela usinagem é realizada pelo operador que controla a produção nas máquinas.

Fig.5.4 - Foto de dois meios de transporte de engrenagens

Fonte: Autor

5.3. Descrição do sistema de produção de engrenagens

O sistema de produção de engrenagens da empresa em estudo é composta por máquinas operatrizes e fornos de tratamento térmico. As peças em fabricação são transportadas em meios adequados para esta função, e não é possível a fabricação completa de um item sem a execução das operações em todas as etapas de produção. Também não é possível a inversão da sequência de operações para determinado produto. Assim, podemos classificar esta manufatura como um Flow Shop.

As dimensões das engrenagens fabricadas obedecem a um desenho desenvolvido pela engenharia de produto responsável pelas análises de desgaste e resistência mecânica. A cada etapa do processo produtivo, o operador avalia as dimensões da engrenagem, através de um plano de processo que estipula a frequência de medição e as tolerâncias máximas e mínimas exigidas pelo desenho do produto. A aprovação da peça, para a etapa de produção subseqüente, é de responsabilidade do operador.

Cada engrenagem possui um determinado processo produtivo em função de suas características. O sistema de produção individual para cada engrenagem é apresentado através de um fluxograma demonstrativo das etapas de usinagem no anexo 1 deste trabalho.

5.4. Etapas de usinagem das engrenagens

Cada engrenagem possui um processo de usinagem característico, as especificações destas etapas e o tempo gasto com cada operação, o ciclo manual (tempo de carga e descarga da máquina e o controle da peça pelo operador) e o ciclo automático (tempo de operação da máquina), são descritos nas tabelas abaixo;

Tabela 5.1 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem A.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	1,60 1,60
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	1,10 0,10
Transporte	
Rascar	0,70

Fonte: Autor

Tabela 5.2 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem C.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	1,60 1,30
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	1,00 0,10

Transporte	
Rascar	0,70
Transporte	
Balanceadora	0,50

Fonte: Autor

Tabela 5.3 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem F.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Desbaste Tornear 2° Lado Desbaste	1,35 1,35
Transporte	
Brochar	0,30
Transporte	
Tornear 1° Lado Acabado Tornear 2° Lado Acabado	1,20 1,20
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	2,00 0,10
Transporte	
Rascar	0,70
Transporte	
Furar	3,00
Transporte	
Escarear	0,40

Fonte: Autor

Tabela 5.4 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem G.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	2,20 2,10

Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	2,66 0,10
Transporte	
Rascar	0,71
Transporte	
Brochar	0,51
Transporte	
Furar	1,40
Escarear	0,40

Fonte: Autor

Tabela 5.5 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem B.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	1,60 1,30
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	1,10 0,10
Transporte	
Rascar	0,70
Transporte	
Balancear	0,51

Fonte: Autor

Tabela 5.6 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem D.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	2,40 1,90

Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	1,10 0,10
Transporte	
Rascar	0,70
Transporte	
Furar	1,14
Transporte	
Balancear	0,50

Fonte: Autor

Tabela 5.7 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem H.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	2,20 2,20
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	1,10 0,10
Transporte	
Rascar	0,70

Fonte: Autor

Tabela 5.8 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem I.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	4,10 4,20
Transporte	
Fresar dentado	2,60

Rebarbar	0,10
Transporte	
Rascar	0,70

Fonte: Autor

Tabela 5.9 – Etapas e tempos de usinagem da engrenagem E.

Operações	Tempos de Usinagem (min./100)
Tornear 1° Lado Tornear 2° Lado	5,35 4,70
Transporte	
Fresar dentado Rebarbar	2,15 0,10
Transporte	
Rascar	0,70

Fonte: Autor

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Introdução

A modelagem de um sistema real de produção de engrenagens requer o entendimento completo do fluxo de peças pelas máquinas de usinagem, os tempos de produção e a movimentação das peças pelo setor. Quanto maior a proximidade do sistema real com o modelo construído, mais confiáveis são os resultados obtidos.

O modelo de simulação foi implementado utilizando-se o software ProModel, que possibilita a modelagem de todo e qualquer tipo de sistema de manufatura, abrange desde pequenos job shops e células de manufatura até produção em grande escala e sistemas de manufatura flexível. O ProModel é uma poderosa ferramenta que possibilita uma grande flexibilidade para o desenvolvimento de trabalhos, como o estudo do processo produtivo, da logística, da capacidade produtiva de um sistema e como suporte para uma tomada de decisão em investimento. É um software que possui uma interface com o sistema Windows e possui uma interface gráfica intuitiva e orientada ao objeto, o que reduz em muito a necessidade de programação (LAW *et al*., 1990).

6.2. Modelo desenvolvido

Com a modelagem do sistema atual, foi possível realizar o estudo da capacidade produtiva do sistema de fabricação de engrenagens, identificar os postos gargalo, compreender a movimentação de peças no setor e verificar a necessidade de mão de obra, bem como validar o modelo desenvolvido.
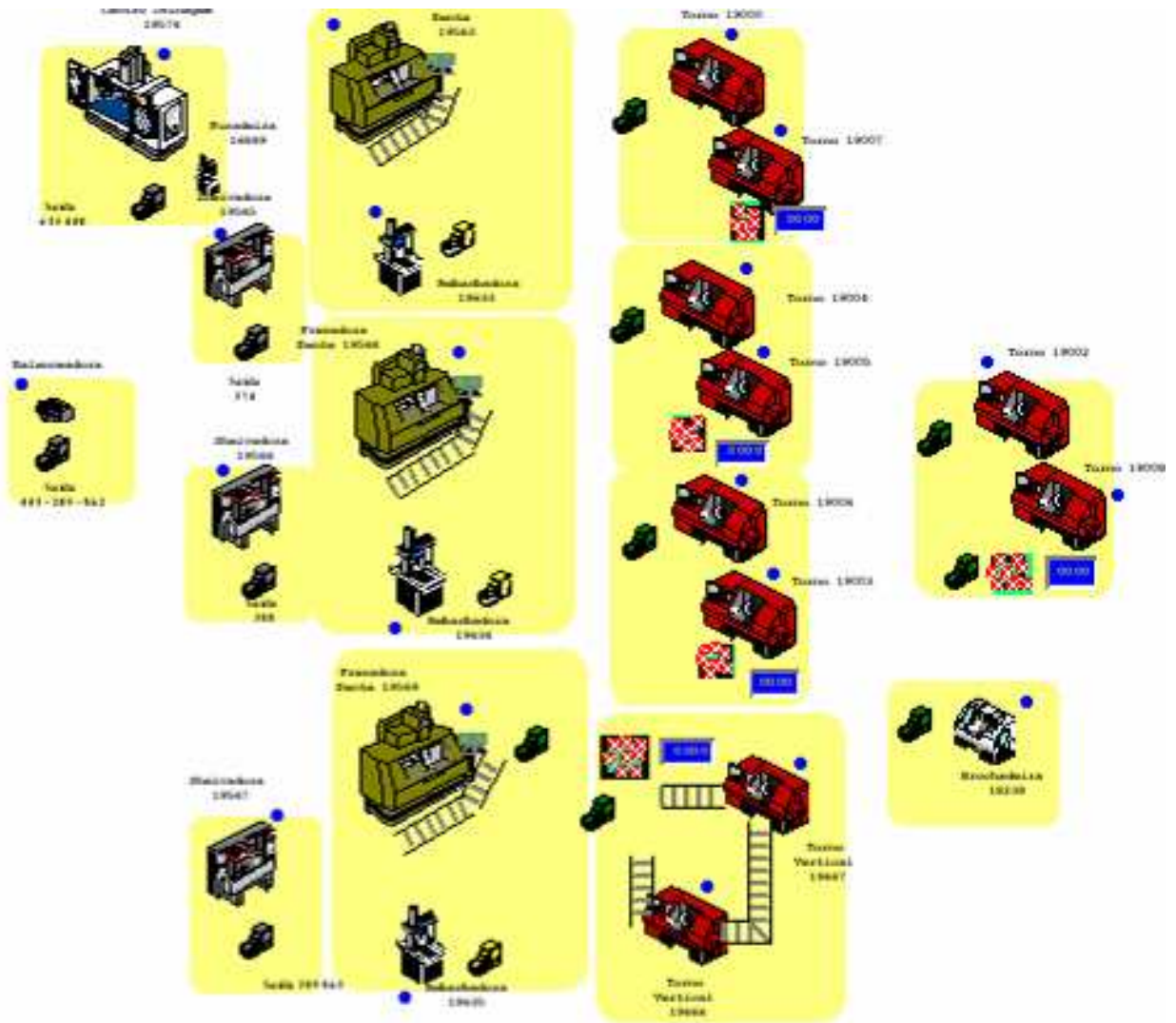
Fig.6.1 - Layout atual do sistema de produção de engrenagens.
Fonte: Autor

Para a simulação da produção, através do software ProModel, estipula-se um tempo de simulação, que pode ser de um mês, uma semana, ou um turno de produção. Neste trabalho, o período de simulação escolhido é de três turnos de produção, ou um dia inteiro, que descontados os tempos de parada para o almoço, jantar, para os cafés da manhã e da tarde , para a limpeza das máquinas no final de cada turno, chega-se a uma carga de trabalho de 21 horas. A produção determinada para a simulação foi de 135 peças de cada item por dia. Com estas premissas, obteve-se as seguintes quantidades de peças produzidas:

Tabela 6.1 – Total fabricado de peças através do layout atual.

Relatório: Engrenagens Produzidas						
Identificação Engrenagem	**Total fabricado**	**Qt. Atual no Sistema**	**Tempo Médio no Sistema (MIN.)**	**Tempo Médio em Movimento**	**Tempo Médio em Operação (MIN.)**	**Tempo Médio Bloqueado (MIN.)**
A	135,0	0,0	132,6	1,1	5,3	126,2
C	135,0	0,0	363,8	1,3	5,4	357,1
G	135,0	0,0	423,2	3,7	26,6	392,8
E	112,0	23,0	884,2	0,8	66,4	817,0
H	135,0	0,0	693,5	1,1	16,0	676,4
I	135,0	0,0	425,1	0,8	68,5	355,7
B	135,0	0,0	634,4	1,3	14,7	618,3
D	135,0	0,0	449,6	2,4	23,3	424,0
F	135,0	0,0	448,5	4,3	26,9	417,3

Fonte: Autor

O resultado de 135 peças fabricadas repetiu-se em todos os itens, com exceção do item ‘E” onde foi possível a produção de apenas 112 peças. O tempo médio gasto pela peça dentro do sistema chamado de “Lead-Time” é maior para a engrenagem “E” (884,2 min.) e o tempo médio gasto pela peça em operação é relativamente alto para os itens “E” e “I” (respectivamente 66,4 min. e 68,5 min.). O maior tempo de bloqueio dentro do sistema também pertence ao item “E” (817 min.), tempo este gasto pela engrenagem que fica impossibilitada de ser fabricada na próxima etapa de usinagem em função de haver uma outra peça em fabricação que a bloqueia sem permitir a continuidade do processo produtivo.

As engrenagens “E” e “I” são de características geométricas maiores que as demais, em função desta característica necessitam de um maior tempo de torneamento. As duas engrenagens, em função de possuírem características geométricas semelhantes, são fabricadas nos mesmos tornos verticais, N° 19666 e 19667.

Tabela 6.2 – Percentual de utilização das máquinas.

N° Máq.	Denominação da Máquina	% Operação
19000	Torno	31,1
19007	Torno	34,2
19004	Torno	43,9
19005	Torno	49,3
19006	Torno	36,4
19003	Torno	40,8
19002	Torno	13,6
19008	Torno	13,6
19667	Torno Vertical	99,9
19666	Torno Vertical	93,5
19563	Fresadora Dente	22,5
19568	Fresadora Dente	64,0
19569	Fresadora Dente	71,4
19633	Rebarbadora	2,1
19635	Rebarbadora	3,2
19634	Rebarbadora	4,3
19574	Centro de Usinagem	59,5
16849	Furadeira de Coluna	8,6
19566	Sheivadora	40,2
19567	Sheivadora	22,2
19565	Sheivadora	15,2
---	Balanceadora	10,8
18238	Brochadeira	8,8

Fonte: Autor

Com os dados da tabela 6.2 é possível verificar o grau de operação de cada máquina e analisar os possíveis gargalos. É possível verificar um excesso de produção para os tornos verticais N° 19667 e 19666 e uma ociosidade grande nos tornos N° 19002 e 19008 respectivamente 14,4% e 14,7% do tempo total disponível para a produção em operação.

Os tornos N° 19667 e 19666 usinam as engrenagens “E” e”I” que por sua vez possuem um longo tempo de usinagem. Isto leva a crer que uma possível adaptação dos tornos N° 19002 e 19008 para a produção dos itens “E” e”I” resolveria os problemas já identificados.

A simulação de um modelo destaca os problemas atuais do sistema, os gargalos, e indica o caminho para o incremento da capacidade produtiva. Se um aumento da demanda

ocorrer, a produção desta nova demanda é simulada e, posteriormente, verifica-se a necessidade ou não de novos investimentos em máquinas e equipamentos.

Os primeiros resultados com a simulação do layout indicam um problema onde as engrenagens "E" e"I" são torneadas através de dois tornos verticais. Analisando este cenário, seria imprescindível um melhor balanceamento da produção entre os tornos.

São infinitas as possibilidades de rearranjo do layout em busca de melhorias e aumento de produtividade. Inicialmente, procura-se uma resposta para os problemas encontrados, buscando um balanceamento da produção dos itens no setor. Utilizando os tornos N° 19002 e 19008 para a fabricação de outros itens, aumentaria o seu tempo em operação e resolveria o problema de capacidade com os tornos N° 19666 e 19667. Para isto se faz necessário a criação de um novo modelo para simulação baseado na premissa de utilização dos tornos N° 19002 e 19008 para a usinagem de outras engrenagens. Este novo modelo será visto a seguir.

6.2.1. Adaptação dos tornos N° 19002 e 19008 para a usinagem de outras engrenagens.

Com a utilizacao dos tornos N° 19002 e 19008 para a fabricação da engrenagem "E" obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 6.3 - Total fabricado de peças através do layout atual com a adaptação dos tornos 19002 e 19008 para a fabricação da engrenagem "E".

Relatório: Engrenagens Produzidas						
Identificação Engrenagem	Total fabricado	Qt. Atual no Sistema	Tempo Médio no Sistema (MIN.)	Tempo Médio em Movimento	Tempo Médio em Operação (MIN.)	Tempo Médio Bloqueado (MIN.)
A	135,0	0,0	132,5	1,1	5,3	126,2
C	135,0	0,0	364,1	1,3	5,4	357,5
G	135,0	0,0	424,4	3,7	26,7	394,0
E	135,0	0,0	642,4	1,7	33,3	607,3
H	135,0	0,0	693,1	1,1	16,0	676,0
I	135,0	0,0	471,8	0,8	67,5	403,5
B	135,0	0,0	635,3	1,3	14,7	619,2
D	135,0	0,0	450,1	2,4	23,3	424,4
F	135,0	0,0	448,5	4,3	26,9	417,3

Fonte: Autor

A adaptação de todos os tornos para a fabricação de qualquer engrenagem seria uma medida relevante tendo em vista que um balanceamento mais uniforme da produção nas máquinas, a rigor, aumentaria a sua eficiência e, por conseqüência, eliminaria a necessidade de investimento em novas máquinas com o aumento da produção. Com a utlização dos tornos N° 19002 e 19008 para a fabricação da engrenagem "E" foi possível aumentar a produção do item para 135 peças, ante as 112 engrenagens fabricadas no sistema anterior e reduzir o tempo médio deste item no sistema de 884 min. para 642 min. o que significa uma menor quantidade de peças em estoque no processo.

Tabela 6.4 – Percentual de utilização das máquinas

N° Máq.	Denominação da Máquina	% Operação
19000	Torno	38,4
19007	Torno	41,7
19004	Torno	55,0
19005	Torno	60,8
19006	Torno	44,9
19003	Torno	50,3
19002	Torno	80,0
19008	Torno	85,9
19667	Torno Vertical	57,4
19666	Torno Vertical	58,9
19563	Fresadora Dente	28,4
19568	Fresadora Dente	80,9
19569	Fresadora Dente	94,1
19633	Rebarbadora	1,1
19635	Rebarbadora	4,0
19634	Rebarbadora	5,3
19574	Centro de Usinagem	74,9
16849	Furadeira de Coluna	9,8
19566	Sheivadora	44,6
19567	Sheivadora	29,2
19565	Sheivadora	19,2
---	Balanceadora	13,4
18238	Brochadeira	10,8

Fonte: Autor

Apenas com esta modificação, foi possível aumentar o tempo em operação dos tornos N° 19002 e 19008 respectivamente de 13,6% para 80,0% e de 13,6% para 85,9%, e obter um maior volume de produção do item “E”.

A tecnologia de grupo aplicada na produção de engrenagens na tentativa de construção de um novo modelo com resultados de produtividade mais promissores será detalhado a seguir.

6.2.2. Agrupamento das peças

O agrupamento das engrenagens em famílias pode ser realizado considerando-se as suas características de processo ou de geometria. Como a geometria das peças são similares, mas o processo de produção a qual são submetidas diferenciam-se entre si, o método mais apropriado para este estudo é o agrupamento das peças em famílias, de acordo com as suas etapas de processo.

A tabela (6.5) relaciona todas as engrenagens e as suas respectivas operações de usinagem. A letra “X”, na tabela, indica se aquela operação de usinagem é executada para aquela engrenagem.

Tabela 6.5 – Relação de peças e suas respectivas operações de usinagem.

Ident. Engr.	Tornear 1º Lado (Acab.)	Tornear 2º Lado (Acab.)	Fresar Dentado	Rebarbar	Rascar Dentado	Furar	Escarear	Brochar	Balancear	Tornear 1º Lado (Desb.)	Tornear 2º Lado (Desb.)
A	X	X	X	X	X						
C	X	X	X	X	X				X		
G	X	X	X	X	X	X	X	X			
E	X	X	X	X							
H	X	X	X	X	X						
I	X	X	X	X	X						
B	X	X	X	X	X				X		
D	X	X	X	X	X	X			X		
F	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X

Fonte: Autor

Analisando a tabela (6.5) pode-se verificar a similaridade entre as peças através de suas operações de usinagem, e agrupá-las em famílias, conforme demonstrado na tabela (6.6).

Tabela 6.6 – Agrupamento de peças em famílias.

Ident. Engr.	Familia	Tornear 1º Lado (Acab.)	Tornear 2º Lado (Acab.)	Fresar Dentado	Rebarbar	Rascar Dentado	Furar	Escarear	Brochar	Balancear	Tornear 1º Lado (Desb.)	Tornear 2º Lado (Desb.)
A		X	X	X	X	X						
I	1º Familia	X	X	X	X	X						
H		X	X	X	X	X						
G		X	X	X	X	X	X	X	X			
F	2º Familia	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
E		X	X	X	X	X						
D		X	X	X	X	X	X			X		
C	3º Familia	X	X	X	X	X				X		
B		X	X	X	X	X				X		

Fonte: Autor

Esta análise preliminar é necessária para a elaboração de células de usinagem específicas para a produção de cada família de peças. Com três famílias de peças, é possível produzir as engrenagens em três células de usinagem e uma quarta célula de usinagem somente para as operações específicas.

Apesar da engrenagem "E" fazer parte da 1° família de peças aplicandos-se a tecnologia de grupo, esta não deveria ser usinada na célula por falta de capacidade de produção com os equipamentos existentes.

Na produção destas engrenagens, em três células de usinagem, não é possível agrupar a engrenagem "E" na 1°família de peças, em função da falta de capacidade para a produção de todas as 135 peças, de todos os 4 itens, em apenas uma célula de usinagem. Também, como visto anteriormente, como esta engrenagem possui grandes superfícies para o desbaste na operação de torneamento, não seria possível produzir em uma mesma célula a engrenagem "E" e a engrenagem "I", que possuem características geométricas semelhantes. Assim, a engrenagem "E" irá compor a 2° família. As engrenagens "G" e "F" da 2° família receberão auxílio de uma quarta célula de usinagem para as operações de furar, escarear, brochar e

tornear em desbaste. Um posto de balanceamento de engrenagens é preciso para operações de balancear as peças.

Com este agrupamento de peças em função de suas características de processo é possível agrupar as máquinas de usinagem em células de produção. Com isto se faz necessário a construção de um modelo com um layout celular, que pode ser visto a seguir.

6.2.3. Utilização de um layout celular para a produção de engrenagens.

Com a modelagem do sistema produtivo, é permitido o estudo de outros layouts, isso em um curto espaço de tempo. Este estudo é necessário quando se está longe do sistema ideal, sem perdas em movimentação de peças, transporte, ou em excesso de estoque e alto *lead-time*. Com a simulação, é permitida uma variação da demanda de produção e a posterior análise para uma avaliação dos problemas recorrentes para o atendimento do aumento da produção. Tendo em vista as vantagens competitivas que uma célula de manufatura oferece ao sistema produtivo, conforme a literatua, é interessante simular este mesmo sistema produtivo, considerando-se um layout celular.

Foram construídas, através de um modelo, três células de manufatura, cada uma formada por dois tornos, uma fresadora de dentado, uma rebarbadora, uma sheivadora e uma quarta célula de manufatura com um torno, uma brochadeira, um centro de furação e uma furadeira de coluna conforme tabela 6.6.
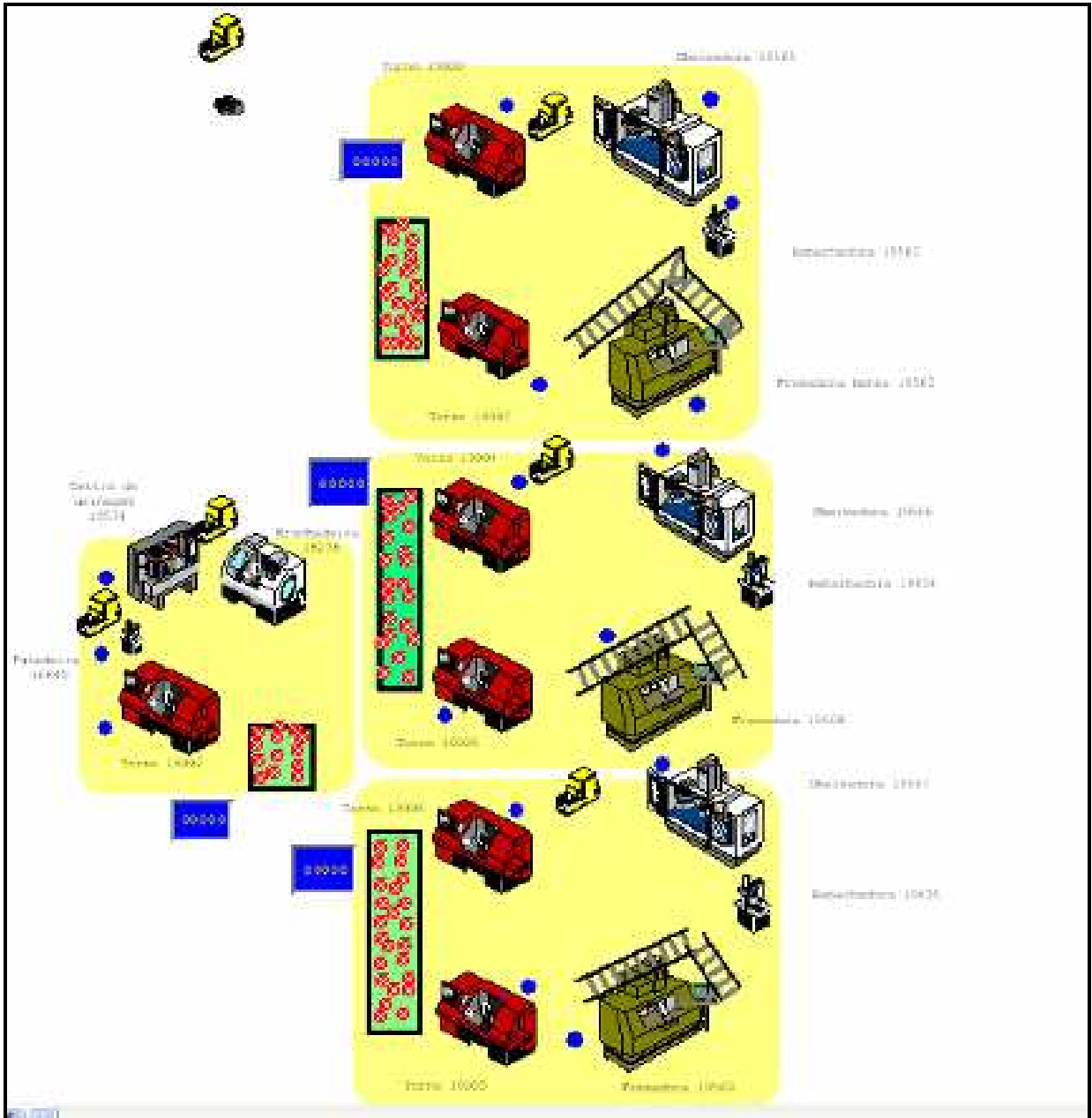
Fig.6.2 Layout do sistema de produção com quatro células de manufatura.

Fonte: Autor

As engrenagens a serem produzidas, a mesma quantidade de 135 peças por item, foram introduzidas neste modelo e balanceadas nas células. A quarta célula de manufatura foi necessária em decorrência da necessidade do pré-torneamento e da operação de brochar a estria interna da engrenagem “F” e das operações de brochar rasgo da chaveta, furar e escarear da engrenagem “G”. No posto para balanceamento das engrenagens, são balanceadas as peças “C”, “B” e “D”.

Com a simulação deste modelo, com estas quantidades de engrenagens a serem produzidas, foi possível balancear a produção destas peças entre as três células de usinagem para se obter o melhor resultado possível.

Tabela 6.7 - Total fabricado de peças através do layout celular.

Relatório: Engrenagens Produzidas						
Identificação Engrenagem	Total fabricado	Qt. Atual no Sistema	Tempo Médio no Sistema (MIN.)	Tempo Médio em Movimento	Tempo Médio em Operação (MIN.)	Tempo Médio Bloqueado (MIN.)
A	135,0	0,0	688,4	0,4	6,4	681,6
C	135,0	0,0	495,5	1,2	6,2	488,6
G	135,0	0,0	924,2	0,6	26,7	896,9
E	135,0	0,0	378,2	0,3	13,3	364,6
H	135,0	0,0	962,6	0,4	6,7	955,6
I	135,0	0,0	305,9	0,4	12,1	293,4
B	135,0	0,0	731,2	2,1	9,4	719,6
D	135,0	0,0	240,5	4,6	8,2	227,7
F	135,0	0,0	962,1	0,6	24,3	937,2

Fonte: Autor

Atráves do layout celular foi possível a produção de 135 peças, (tabela 6.7), em três turnos de produção como no layout atual. Isto foi possível com uma menor quantidade de tornos, 07 tornos ao invés de 10 tornos para o layout atual. Esta quantidade menor de máquinas foi possível em decorrência de uma redução significativa na distância percorrida pelos operadores dentro das células, e de uma maior utilização das máquinas.

Tabela 6.8 – Percentual de utilização das máquinas no layout celular

N° Máq.	Denominação da Máquina	% Operação
19000	Torno	82,2
19007	Torno	88,7
19004	Torno	87,3
19005	Torno	85,9
19006	Torno	87,7
19003	Torno	80,6
19002	Torno	30,6
19563	Fresadora Dente	49,7
19568	Fresadora Dente	66,2
19569	Fresadora Dente	56,7
19633	Rebarbadora	4,6
19635	Rebarbadora	2,3
19634	Rebarbadora	21,4
19574	Centro de Usinagem	29,4
16849	Furadeira de Coluna	4,3
19566	Sheivadora	40,6
19567	Sheivadora	16,6
19565	Sheivadora	43,1
---	Balanceadora	29,0
18238	Brochadeira	9,9

Fonte: Autor

Conforme a tabela (6.8), com 07 tornos tem-se quase que um uso pleno de sua capacidade de produção. Analisando apenas o grau de utilização das máquinas, seria correto afirmar também que uma redução da quantidade de sheivadoras e rebarbadoras seriam medidas plausíveis, mas a utilização de uma sheivadora tornaria inevitável uma maior quantidade de tempo gasto com preparações o que inviabilizaria a proposta. A possibilidade do estudo de várias construções de layout é real, e a probabilidade de um acerto na necessidade de investimento para atender a uma nova demanda de produção cresce, à medida que o modelo se aproxima das condições reais de manufatura.

Em função da quantidade de leaiautes em linha encontrados na empresa onde o trabalho foi desenvolvido e da sua aceitação pelos operadores se faz necessário a construção de um modelo com um layout em linha como pode ser visto a sguir.

6.2.4. Utilização de um layout em linha para a produção de engrenagens

Foi elaborado um terceiro layout em linha para a produção de 135 peças de cada item conforme a fig. (6.3).
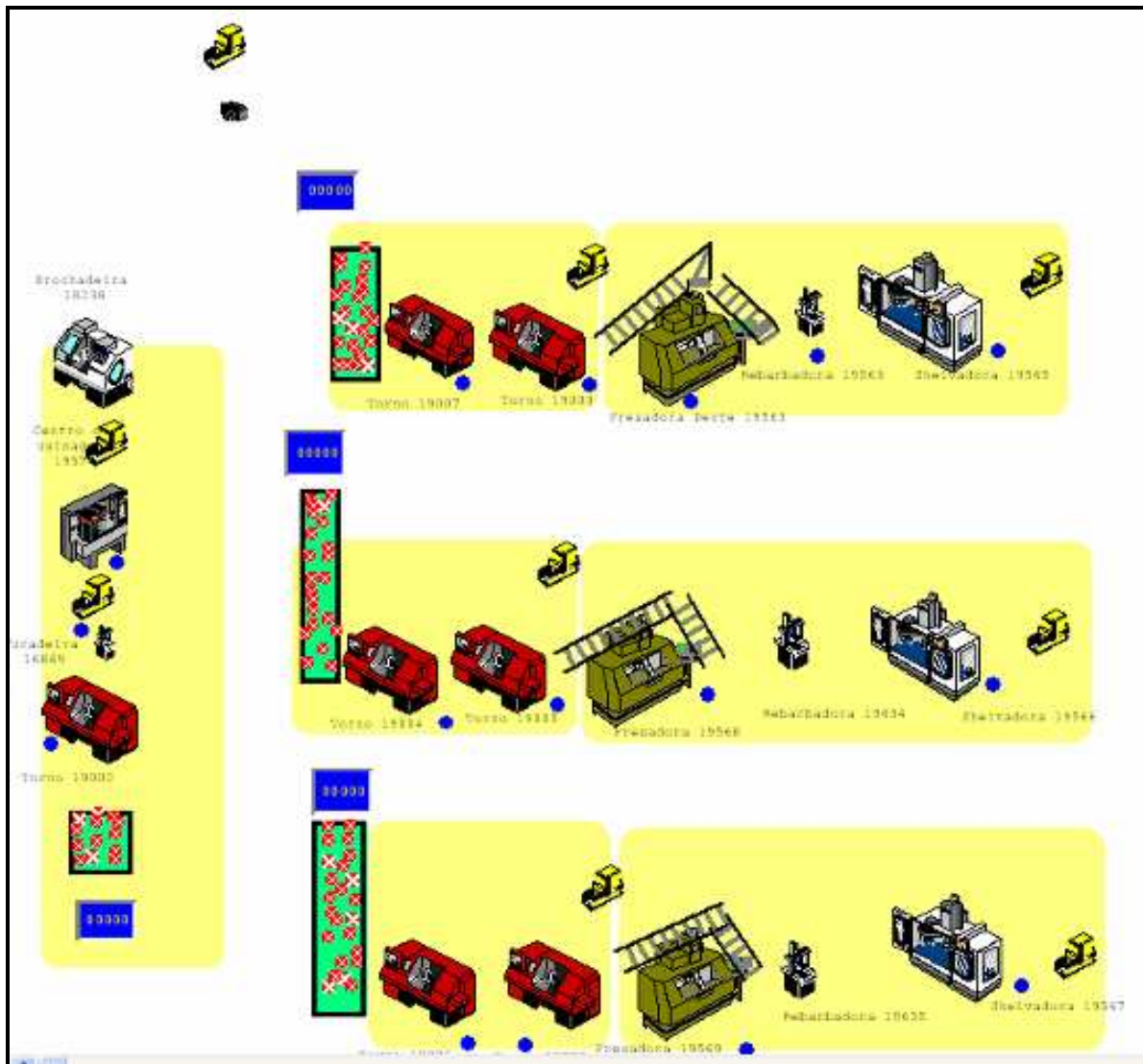
Fig.6.3 Layout do sistema de produção com quatro linhas de produção.

Fonte: Autor

Apesar também de dispensar a utilização de 03 tornos, 07 tornos apenas ao invés dos 10 tornos utilizados no layout atual, esta concepção de layout se torna menos eficiente que o layout celular, na medida que surge a necessidade de estoques intermediários entre os postos e sobe substancialmente a distância percorrida pelo operador em função de um distanciamento das máquinas de produção, um aumento da quantidade de operadores para a produção seria inevitável.

Tabela 6.9 – Total fabricado de peças através do layout em linha.

Relatório: Engrenagens Produzidas						
Identificação Engrenagem	Total fabricado	Qt. Atual no Sistema	Tempo Médio no Sistema (MIN.)	Tempo Médio em Movimento	Tempo Médio em Operação (MIN.)	Tempo Médio Bloqueado (MIN.)
A	135,0	0,0	737,9	1,1	11,4	725,4
C	135,0	0,0	488,0	1,8	6,2	480,0
G	125,0	10,0	968,8	6,1	18,6	944,1
E	135,0	0,0	390,1	1,1	13,3	375,7
H	125,0	10,0	1003,1	1,0	7,2	994,9
I	135,0	0,0	312,0	1,0	12,1	298,9
B	135,0	0,0	744,0	2,7	15,7	725,6
D	135,0	0,0	191,7	4,1	8,3	179,3
F	135,0	0,0	989,4	1,7	25,4	962,2

Fonte: Autor

Analisando os dados da tabela (6.9) verifica-se que não foi possível a produção de 135 peças para os itens n° “G” e “H”. A quantidade produzida, inferior ao layout celular, surge em decorrência do excesso do tempo gasto em movimentação. Outra conclusão importante é um maior tempo médio dentro do sistema para as peças, em função dos estoques intermediários entre postos.

6.3. Conclusão sobre os estudos de Layout.

A simulação da produção, através de um modelo, possibilita o teste e a avaliação de qualquer cenário. Isto é fundamental para a calibração da necessidade do estoque de um sistema produtivo, em função de uma demanda. Com a utilização do ProMode1 para a construção de um modelo e a posterior simulação, foi possível a análise de diferentes soluções de layout para a manufatura de engrenagens. Os resultados obtidos, com os quatro cenários, estão resumidos na tabela (6.10).

Tabela 6.10 – Comparativo entre os cenários efetuados.

Caracteristicas Avaliadas	1° Cenário	2° Cenário	3° Cenário	4° Cenário
	Layout Atual	Layout Atual com o balanceamento dos tornos	Layout Celular	Layout em Linha
Necessidade Mão de Obra em 3 turnos	48 operadores	48 operadores	27 operadores	51 operadores
Qt. Necessária de Maquinas	23	23	20	20
Atendimento a Produção (Conjunto de Engrenagens)	112	135	135	125
Soma Total do Tempo Gasto em Movimentação	16,8 min.	17,7 min.	10,6 min.	20,7 min.

Fonte: Autor

Conforme a tabela (6.10), a necessidade de operadores para a produção em um layout celular é menor do que para os outros cenários. Isto porque, para a produção em célula, é possível minimizar ao máximo a distância entre as máquinas, colocando-as em formato de "U". O tempo gasto pelo operador na célula para a produção se reduz, em função da necessidade de apenas alguns passos para a locomoção entre máquinas. A utilização de um layout em linha implica em uma maior quantidade de operadores, pois não é possível a operação de várias máquinas, simultaneamente, e no 1° e 2° cenário, os operadores logísticos encarregados de transportar as peças entre os postos de usinagem aumentam, substancialmente, a necessidade de uma quantidade maior de operadores: 48 no total em 3 turnos de produção, ao invés de 27 operadores do layout celular. As somatórias de todos os tempos gastos em movimentação, de todas as engrenagens, validam esta afirmação. No 1° e no 2° cenário, o tempo gasto em movimentação, respectivamente, é de 16,8 min. e 17,7 min. No layout celular, onde as distâncias foram reduzidas ao máximo, tem-se 10,6 min. e no layout em linha 20,6 min.

A necessidade total de máquinas nos layouts também é menor para os cenários 3 ° e 4°, em decorrência de uma melhor utilização da capacidade produtiva dos tornos. Nestes dois cenários, foi possível a retirada de dois tomos verticais e suas esteiras de alimentação automática e de mais um torno horizontal. Esta redução de estoque não reduziu a capacidade produtiva do sistema produtivo, pois no layout celular foi possível manter o mesmo volume de produção.

Em função dos pontos avaliados, conclui-se que para o sistema produtivo estudado o layout celular apresenta os melhores resultados. Esta avaliação quantitativa demonstra o

melhor caminho para o atendimento de uma determinada demanda de produção. A variação da demanda de produção requer novos estudos, através da modelagem de novos sistemas de produção. A utilização de um modelo para a simulação de uma determinada produção possibilita o estudo de varias hipóteses mediante a uma nova demanda de produção, além de validar, através de testes, as soluções encontradas para este desafio.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a simulação de um modelo de produção, foi possível verificar que a planta produtiva atual, organizada para a produção de uma determinada demanda de produção, possui uma relativa ociosidade em equipamentos, máquinas e operadores. O excesso de capacidade surge na fase inicial do projeto quando são adquiridas e posteriormente instaladas as máquinas e equipamentos. A verificação da produtividade é realizada na prática e uma futura mudança deste layout é muitas vezes dispendioso para a industria e pode interromper a produção.

Com a simulação, é possível o estudo de várias soluções de layout. Após uma análise comparativa entre os resultados, verificou-se a melhor proposta, que apresentou uma melhor utilização de recursos a fim de minimizar os investimentos em equipamentos. Isto foi evidenciado com a elaboração de um modelo com um layout celular, onde as perdas com transporte de peças, movimentação de operadores, excesso de estoque e tempo de espera das peças para as etapas subseqüentes de usinagem foram minimizadas. Este modelo apresenta várias vantagens em relação à situação atual de layout da planta e de outras concepções de layouts estudados, como o layout em linha e com o balanceamento dos tornos, no sistema atual.

Através do layout celular, verificou-se a possibilidade de um aumento no volume de produção com uma quantidade de recursos (máquinas e operadores) menor que a atual, assim, a eficácia da técnica em maximizar os ganhos de produtividade é real. É possível afirmar que um estudo mais adequado de um determinado layout pode eliminar a necessidade de investimentos em novos equipamentos.

Os testes de novos layouts, usando a simulação, em um tempo relativamente curto, abre a oportunidade para a gerência de conhecer um eventual excesso de recursos e uma subutilização destes, antes da tomada de decisão em investir em uma planta. A flexibilidade para o estudo de novos cenários e a confiabilidade que estes resultados conferem, possibilitam uma maior agilidade e criam uma maior facilidade para a gerência quando há necessidade de aumentar a produção em função de uma maior demanda.

Com a utilização desta técnica, é possível precisar a necessidade de novos equipamentos de uma forma pontual, em função de um aumento no volume de produção.

Com a simulação, obtém-se resultados quantitativos para os problemas de ociosidade e de falta de capacidade para a produção de determinado item. Com estes resultados, se torna possível a verificação de novas propostas, que atenuem estes problemas através da simulação de novos cenários.

A simulação fornece parâmetros que permitem uma análise que leva a uma melhor utilização dos recursos de produção, eliminando em algumas situações a necessidade de investimento em novos equipamentos. Esta ferramenta proporciona ganhos à empresa com decisões corretas em investimentos e aumenta, substancialmente, os ganhos de produtividade, através da elaboração de um layout eficaz.

REFERÊNCIAS

ACKOFF R. L. e SASIENI M. W.; Fundamental of operations research. New York: John Wiley, (1968).

ANJOS, M. F.; VANNELLI, A. **A New Mathematical-Programming Framework for Facility-Layout Design. Informs Journal of Computing,** v. 18, n. 1, p. 111-118, 2006.

ASKIN, R. G.; **Modeling and analysis of manufacturing systems.** New York: Jonh Wiley & Sons Inc.,1993.

BARNES, D.; **As complexidades do processo de formação de estratégias de fabricação na prática.** Reino Unido, 2002, 22, 10/9; ABI/ Informe Global.

BENJAAFAR, S. Modeling and Analysis of Congestion in the Design of Facility Layouts. Management Science ABI/INFORM, v. 48, n. 5, p. 679-704, 2002.

BENJAAFAR, S.; HERAGU, S. S.; IRANI, S. A. Next Generation Factory Layouts: Research Challenges and Recent Progress. Interfaces ABI/INFORM, v. 32, n. 6, p. 58-76, 2002.

BRYMAN, A.; **Social research methods,** 3ed. Oxford, 2008.

CHIEN, Te-King. **An Empirical Study of Facility Layout Using a Modified SLP Procedure. Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 15, n. 6, p. 455-465, 2004.

COSTA, L. S. S., CAULLIRAUX, H. M.; **Manufatura integrada por computador**. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 450p

DJASSEMI, M. Improving Factory Layout Under a Mixed Floor and Overhead Material Handling Condition. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 18, n. 3, p. 281-291, 2007.

FISHWICK, P. A.; **Simulation model design and execution – Building digital worlds.** New Jersey: Prentice Hall, 1995. 448 p.

GARCIA, CLAUDIO; **Modelagem e Simulacao de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecanicos.** 2ed. São Paulo, 2005. 678 p.

GOPALAKRISHNAN, B.; WENG, L.; GUPTA, D. P. **Facilities Design Using a Split Departmental Layout Configuration.** Facilities ABI/INFORM, v. 21, n. 3-4, p. 66-73, 2003.

GROOVER, M. P.; **Automation, Production Systems, and Computer - Integrated Manufacturing.** Prentice Hall, 2003

HARRELL, C., GHOSH, B. K., BOWDEN, R.; **Simulation using promodel,** 2ed**.** New York, McGraw-Hill, 2004.

KRAJEWSKI, L.J.; RITZMAN, L.P.; **Operations Management, Strategy and Analysis,** 4ed**.** Addison Wesley, 1996.

KRAJEWSKI, L.J.; RITZMAN, L.P.; MALHOTRA, M.K.; **Administração de produção e operações.** 8ed. São Paulo, Prentice Hall, 2008.

KULTUREL-KONAK, S. **Approaches to Uncertainties in Facility Layout Problems: Perspectives at the Beginning of the 21º Century. Journal Intelligent Manufacturing**, v. 18, p. 273-284, 2007.

LAW, A. M. et al. **Simulation Software for Manufacturing Applications (Part 2).** Industrial Engineering; Jul 1990; 22, 7; ABI/INFORM Global, pg. 18.

LEUNG, J. A New Graph-Theoretic Heuristic for Facility Layout. Management Science ABI/INFORM, v. 38, n. 4, p. 594-605, 1992.

LIKER, J.K.; **O modelo Toyota**. São Paulo. Bookman, 2005.

MAGABLEH, G. M.; **A Dynamic Replenishment System for Integrating Supply Chain functions.** Maritime Economics & Logistics, 2007.

MARTINS, P.G., LAUGENI, F.P.; **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 1998.

MEYERS, F.E.; STEPHENS, M.P.; **Manufacturing facilities design and material handling.** 3ed. New Jersey. Prentice Hall, 2005.

Mintzberg, H. e Lampel, J. (1999), **"Refletindo sobre o processo de estratégia"**, Sloan Management Review*,* Spring, pg. 21-30.

MONTREUIL, B.; VENKATADRI, U. Strategic Interpolative Design of Dynamic Manufacturing Systems Layouts. Management Science. ABI/INFORM, v. 36, n. 6, p. 682-694, 1991.

OSTWALD, P. F.; **Manufacturing processes and systems**. 9 ed. New York: Jonh Wiley & Sons Inc., 1997. 200p

PAIVA, E.P.; CARVALHO JR., J.M.; FENSTERSEIFER, J.E. **Estratégia de produção e de operações**. Porto Alegre. Bookman, 2004.

PIDD, M., **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre, 1998.

PORTER, M.E.; MONTGOMERY, C.A. **Estratégia, A Busca da Vantagem Competitiva.** 9 ed. Rio de Janeiro, Campus, 1998.

PRADO, DARCI; **Teoria das filas e da simulação.** 3 ed. Belo Horizonte, 2006. 127 p.

RAJAKUMAR, S.; ARUNACHALAM, V.P.; SELLADURAI, V.; Simulation of workflow balancing in assembly shopfloor operations. **Journal of Manufacturing Technology Management**. ABI/INFORM, p. 265, 2005.

RAWABDEH, I.; TAHBOUD, K. A New Heuristic Approach for a Computer-Aided Facility Layout. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 7, p. 962-986, 2006.

SKINNER, W.; (1969), **“Fabricação: a falta de ligação na estratégia corporativa”**, *Harvard Business Review,* Maio-Junho.

SLACK, N.; **Vantagem competitiva em manufatura.** São Paulo: Atlas, 1993.

______. CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., e JOHNSTON, R., **Administração da produção.** Sao Paulo: Atlas, 1997.

SUZAKI, K.; **The new shop floor management: empowering people for continuous improvement**. New York: The free press – A division of Simon & Suster Inc., 1993, 220p.

THOMPSON,A.A.JR.; STRICKLAND III,A.J.; GAMBLE,J.E. **Administração estratégica.** 15ed. Sao Paulo. Mc Graw Hill. 2008. 668 p.

WEMMBERLOV, U.; **Planejamento e controle da produção para sistemas de manufatura celular.** São Paulo. IMAN, 1997, 102p.

YAMAN, R. **Establishment and Use of Virtual Layouts for Manufacturing. Integrated Manufacturing Systems** ABI/INFORM, v. 12, n. 6-7, p. 400-408, 2001.

ZHAO, T.; TSENG, C.-L. **Flexible Facility Interior Layout: a Real Options Approach**. Journal of the Operational Research Society, v. 58, p. 729-739, 2007.

Anexos

- **Em anexo 1 –** *Fluxograma demonstrativo da produção de engrenagens*

Os fluxogramas da figura 5.5 apresentam as etapas de fabricação de todas as engrenagens em estudo neste trabalho.

No 1° fluxograma são identificados os processos de usinagem que compõe o sistema de produção das engrenagens A,H,I e E. Estas engrenagens apesar de possuírem características geométricas diferenciadas entre si possuem um processo de usinagem equivalente.
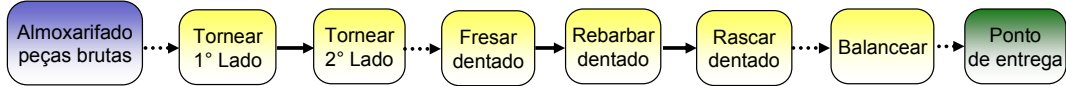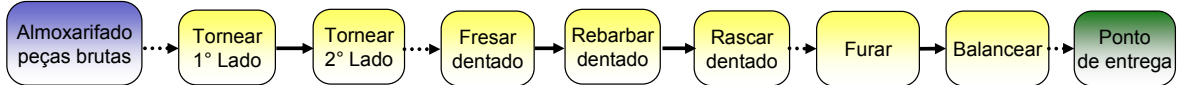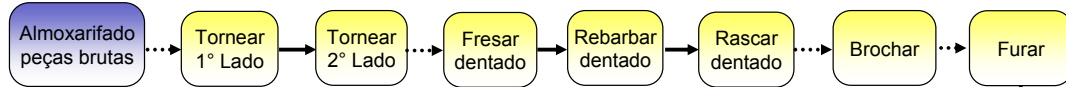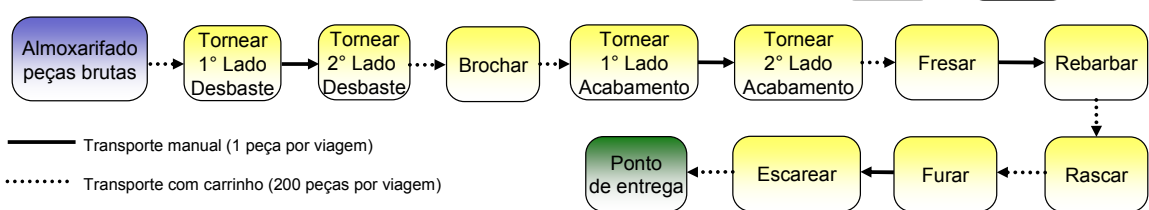
Fig. 5.5 - Fluxograma da produção de engrenagens

Fonte: Autor

No 2° fluxograma fica claro que as engrenagens B e C em função de necessitarem de um balanceamento de massa possuem uma etapa a mais de processamento que as engrenagens do 1º fluxograma. A engrenagem D do 3° fluxograma necessita ainda de um furo que é realizado antes da operação de balancear.

A engrenagem G do 4° fluxograma com as operações de brochar o rasgo de chaveta, furar e escarear possui um processo de usinagem exclusivo bem como a engrenagem F do 5° fluxograma, que necessita de uma usinagem de um dentado interno feito através da operação de brochar. Para evitar variações de usinagem a engrenagem F é torneada antes e após a operação de brochar.

Em todas estas etapas de usinagem o operador avalia se as dimensões das peças estão rigorosamente dentro dos padrões dimensionais exigidos em desenho. Para uma maior facilidade os planos de processos que contem as informações dimensionais, a frequência e os meios corretos para medir cada peça são alocados em todas as maquinas do setor para consulta.

As engrenagens são transportadas manualmente quando a distância a ser percorrida se resume a apenas alguns passos. Em distâncias maiores utilizam-se carrinhos com capacidade de transportar aproximadamente 200 peças. Nos fluxogramas da fig. 5.5 as linhas continuas apresentam o transporte manual, e as linhas pontilhadas o transporte de peças com carrinhos, pois a distância entre os pontos de partida e de chegada não permitem o transporte manual.